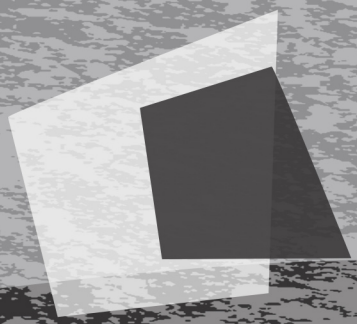
Csegzi Sándor

RADIOACTIVITATEA
ÎN CURBURA CARPATICĂ



Radonul din locuințe

EDITURA DIDACTICĂ ŞI PEDAGOGICĂ, R.A.
www.edituradp.ro

Cuprins

Prefață – Motive, motivații, argumente, scopuri 7

Capitolul I. – Despre radioactivitatea naturală, radiația de fond. Radonul 9
1.1. Radioactivitatea naturală, radiația de fond 9
1.2. Interacțiunea radiației nucleare cu substanța 12
1.3. Radonul. Proprietăți fizice şi chimice 12
1.4. Radonul în natură (aer, sol, apă) 14
1.5. Radonul în încăperi 20
1.6. Radonul în organism 24

Capitolul II. – Detectarea radiațiilor nucleare (generalități) 27
2.1. Detectarea radiației α 27
2.2. Detectarea radiației β 28
2.3. Numărătorul Geiger-Müller 28
2.4. Detectorul de urme nucleare cu corp solid 30

Apendix 1 31
a) Caracterul statistic al dezintegrării
Reproductibilitatea şi precizia măsurătorilor 31
b) Erori întâmplătoare posibile în tehnica de măsurare nucleară 31
c) Împrăştierea cauzată de natura statistică a dezintegrării – Aplicarea distribuției binomiale la dezintegrarea radioactivă 32
d) Împrăştierea ce apare la numărarea de impulsuri (particule) 34
e) Erorile cauzate de radiația de fond 35
f) Calitatea aparaturii de măsurare 35

Capitolul III. – Metode de măsurare a concentrației radonului şi a descendenților săi 37
3.1. Metoda TSIVOGLU 38
3.2 Metoda TÓTH ÁRPÁD 39
3.3. Metoda SZABÓ ENDRE 40
3.4. Metoda standard elaborată de Consiliul Național al Apelor din România 41
3.5. Metoda detectorului de urme nucleare cu corp solid – Metoda Laboratorului de Radon al Academiei Maghiare de la Universitatea Debrețin – Ungaria 43

Apendix 2 44
a) Mărimi fizice şi unități de măsură 44
b) Activitatea gazelor naturale emanate din surse de ape minerale din Munții Rodnei 44
c) Radioactivitatea naturală în mofetele cu dioxid de carbon din oraşul Covasna 45

Capitolul IV. – Programul de realizare pentru „Harta radonului” din localităţile Remetea – jud. Harghita şi Covasna – jud. Covasna 46

Apendix 3 50
a) Mortalitatea prin cancer gastric în jud. Harghita – 1977 50
b) Mortalitatea prin cancer gastric în jud. Harghita – 1982 50
c) Tabel comparativ cu mortalitatea datorită cancerului de plămâni în judeţele României 51

Capitolul V. – Lucrări de laborator propuse pentru orele de fizică 52
5.1. Generalităţi 52
5.2. Realizarea unei surse radioactive 54
5.3. Determinarea activităţii unei surse necunoscute. Determinarea factorului de detecţie al detectorului 54
5.4. Studiul legii dezintegrării radioactive. Determinarea timpului de înjumătăţire 55
5.5. Determinarea concentraţiei de radon şi al descendenţilor săi din aerul din laborator 57

Apendix 4 59
a) Determinarea randamentului de filtrare al filtrului 59
b) Determinarea coeficientului de autoabsorbţie 59
c) Corecţia volumului de aer filtrat 60
d) Determinarea randamentului de măsură 60
e) Etalonarea sistemului de măsurare 60
f) Materiale, ustensile necesare măsurătorilor 60

Bibliografie 62
Anexe 65

*Această carte nu putea fi realizată fără implicarea directă a prof. univ. dr. **Călin Beşliu**, prof. univ. dr. **Alexandru Jipa**, de la Facultatea de Fizică, Universitatea din Bucureşti, fizician dr. **Ana Daniş** de la IFIN-HH, Bucureşti – Măgurele, fizician dr. **Ilona Hunyady**, fizician dr. **Istvan Csige**, de la Laboratorul pentru măsurarea radonului de lângă Academia Ştiinţifică Maghiară, Debreţin – Ungaria.*
Doresc să le aduc mulţumiri şi pe această cale, cu tot respectul meu, pentru munca lor ştiinţifică şi didactică depusă de-a lungul anilor şi ajutorul pe care mi l-au acordat stând lângă mine şi încurajându-mi munca.
*Nu în ultimul rând, mulţumesc familiei mele (soţiei, **Magdolna** şi fiicei, **Kamilla**) pentru implicarea directă şi activă în desfăşurarea programelor de la Remetea, judeţul Harghita şi Covasna, judeţul Covasna.*

Csegzi Sándor

Prefață

Motive, motivații, argumente, scopuri

Secolul al XX-lea, putem spune cu certitudine, a fost dominat de descoperirile din fizică. Noile cunoştinţe legate de structura materiei au eliberat noi energii (fisiune, laser, fuziune), au dat inteligență materiei nevii (semiconductori), au permis noi căi de comunicație (radiații electromagnetice), altfel spus au reprezentat o nouă revoluție în dezvoltarea civilizației umane.

Ritmul de dezvoltare a ştiinţelor, ritmul de aplicabilitate a acestora a dus la o avalanşă de informație, a cărei prelucrare de către om necesită nu numai pregătire intelectuală ci şi timp fizic şi adaptare biologică.

Începutul secolului al XXI-lea, cred că în primul rând va trebui să găsească modalitățile prin care impactul dintre informație şi om să fie cât mai eficient şi cât mai puțin „dureros", adică să influențeze cât mai mult intelectul şi cât mai puțin psihicul individului.

Asta duce deja spre ştiința comunicației, şi nu întâmplător se pregătesc generații de tineri pe băncile învățământului superior pentru bătălia cu informația.

Lucrarea aceasta, desigur, nu îşi propune să fie un tratat de ştiința comunicației ci a pornit de la următoarele premise:

- cantitatea de informație din jurul nostru creşte exponențial
  ⇒ tendință către cunoştințe superficiale, cu multe lacune;
- tot mai puțin timp la dispoziție pentru pregătire profesională
  ⇒ necesitatea de manuale (tratate de specialitate) concise, clare, practice, (cu aplicații şi exemple practice);
- ştiința, cercetarea ştiințifică, în perioada pregătirii preuniversitare, pare ceva de neatins, îndepărtat, sacru
  ⇒ de găsit căi prin care tinerii, împreună cu profesorii lor să poată să fie cooptați în programe de cercetare reală, autentică.

Lucrarea aceasta are la bază o muncă de 15 ani, muncă născută din premisele enumerate; se compune din mai multe etape şi este bazată pe o serie de colaborări, cu instituții de specialitate (pe bază de contract) care au avut în continuu în centrul atenției elevul:

a) 1992 – Curs Postgradual la catedra de fizică nucleară de la Facultatea Eötvös Lóránt ELTE – Budapesta pe tema „Radioactivitatea naturală".

Am lucrat efectiv un an de zile în echipa domnului prof. univ. dr. *Marx György*, şeful catedrei de fizică nucleară, împreună cu profesoara *Tóth Eszter* pentru „Harta de radon", la Matraderecske, Ungaria.

A rezultat o lucrare ştiințifică prezentată în fața catedrei de fizică nucleară. Această colaborare a continuat şi după acesta, efectuând măsurători, şi realizând studii şi în România în zona Gheorgheni, Miercurea-Ciuc, Covasna.

b) 1993-1994 – Obținerea gradului didactic I cu lucrarea „Radioactivitatea atmosferei. Radonul", sub îndrumarea prof. univ. dr. *Vladimir Znamirovschi*, şeful catedrei de fizică atomică şi nucleară de la Universitatea Babeş-Bolyai, Cluj-Napoca.

Este o lucrare metodico-ştiinţifică bazată pe munca unui grup de elevi din liceul unde predau şi are ca subiect prezentarea surselor radioactive naturale, contribuţia radonului la creşterea mortalităţii cauzate de cancerul la plămâni şi prezentarea unor metode de măsurare a radonului studiate în laboratorul de fizică.

c) 1996-1998 – Desfăşurarea unei lucrări de amploare „Realizarea hărţii de radon la Remetea – judeţul Harghita" în colaborare cu Laboratorul de Radon al Academiei Ştiinţifice Maghiare de lângă Universitatea din Debreţin, Ungaria.

Am lucrat cu două grupuri de elevi (30 – 30) şi cu profesori din ambele şcoli (Târgu Mureş – Remetea).

Pe lângă importanţa rezultatelor obţinute s-au născut mai multe lucrări ştiinţifice prezentate la diferite sesiuni de comunicări ştiinţifice şi o lucrare metodică pentru obţinerea gradului didactic I, pe această temă, a colegei de la Şcoala Generală de la Remetea.

d) 2000 – M-am înscris la doctorat la Facultatea de Fizică Bucureşti, cu tema: *Studiul radioactivităţii mediului ambiant cu detectori solizi de urme în zona Carpaţilor de curbură. Organizarea unei reţele locale de supraveghere a fondului de radon.*

e) 2000-2004 – Am desfăşurat o lucrare de amploare pentru realizarea hărţii de radon a oraşului Covasna, împreună cu Laboratorul de Radon de la Debreţin, Facultatea de Fizică Bucureşti (pe bază de contract de colaborare) şi IFIN – HH (Institutul de Fizică şi Inginerie Nucleară – Horia Hulubei) Bucureşti – Măgurele.

În total au participat peste 100 de elevi de la liceul Körösi Csoma Sándor – Covasna şi Liceul Traian Vuia – Târgu Mureş. Lucrarea a avut ca scop secundar intercompararea metodelor de la Debreţin şi Bucureşti – Măgurele, activitate care este încă în desfăşurare.

După cum rezultă din cele arătate, activitatea în cursul celor 15 ani a fost desfăşurată în şcoli generale şi licee, cu profesorii de specialitate din şcolile respective, dar în colaborare cu instituţii de specialitate şi cu specialişti ai temei. Metodele folosite sunt acceptate în lumea ştiinţifică şi rezultatele, de asemenea.

În lucrarea propusă, se argumentează desigur, de ce *radonul* este actorul principal. Lucrarea conţine cunoştinţe de bază de fizica atomului şi nucleară şi descrierea concretă a modului de desfăşurare a activităţii. Conţine şi o serie de lucrări de laborator ce pot fi efectuate cu aparatura din dotarea oricărui laborator de fizică din liceu.

Poate fi o sursă de informaţii suplimentare pentru capitolul de fizică atomică şi nucleară din manualele de liceu, atât pentru elevi cât şi pentru profesori.

Poate fi un ghid pentru cei care ştiu câte ceva despre radon din cultura generală (în SUA se găsesc detectoare în comerţ, şi la fel în unele state UE, accesibile, oricine având posibilitatea analizei în laboratoare de specialitate) şi cunosc riscurile provocate, mai ales în zonele geografice cu surse radioactive naturale (sol, apă), dar şi unde locuinţele au fost construite din materiale cu conţinut important de surse de radon.

Poate fi un ghid valoros pentru profesorii care conduc cercuri de elevi şi pentru cei înscrişi pentru obţinerea gradului didactic I.

Sper, împreună cu toţi colaboratorii, că în curând (deja se poartă discuţii) se va introduce studiul radonului în programa şcolară şi prin reţeaua şcolară se va putea institui şi o reţea prin care în câţiva ani să realizăm harta de radon a României.

Autorul

Capitolul I

Despre radioactivitatea naturală, radiaţia de fond. Radonul

1.1. Radioactivitatea naturală. Radiaţia de fond

Datorită radioactivităţii naturale un om normal, care trăieşte în condiţii geologice normale, într-un an înmagazinează în medie o doză de 1,8 mSv/an.

Din aceasta, 36% (0,65 mSv/an) se datorează radonului. Se pune întrebarea: de unde această radioactivitate? În acest sens sursele radioactive naturale se împart în două categorii:

a) Surse externe:
- radiaţia cosmică;
- emanaţia solului;
- emanaţia materialelor de construcţii;
- activitatea naturală a aerului.

b) Surse interne:
- radioizotopii naturali care ajung în organism dintre care mai importanţi sunt ^{14}C şi ^{40}K.

Prin *radiaţia cosmică* înţelegem radiaţiile de energie mare care ajung în atmosferă din cosmos. Acestea sunt radiaţiile cosmice primare. Dacă aceste radiaţii intră în interacţiune cu atomii constituenţi ai atmosferei atunci apar noi radiaţii numite secundare. Originea radiaţiilor cosmice primare nu este încă elucidată dar se ştie că originea lor este în galaxia noastră, iar pe lângă acestea şi Soarele produce radiaţii nucleare solare care sunt corelate cu activitatea solară.

Spectrul energetic al radiaţiilor cosmice primare este foarte larg: 1 MeV – 10^{14} MeV. Se consideră că protonii din radiaţia cosmică primară cu energiile mai mari de 100 MeV rezultă din Calea Lactee, iar cele cu energii mai mici de 20 MeV sunt de origine solară. Se mai ştie că în ultimii 10^9 ani densitatea de flux a radiaţiei cosmice primare a fost constantă. La energii de ordinul 10^4 MeV, densitatea de flux este influenţată de câmpul magnetic terestru care poate chiar

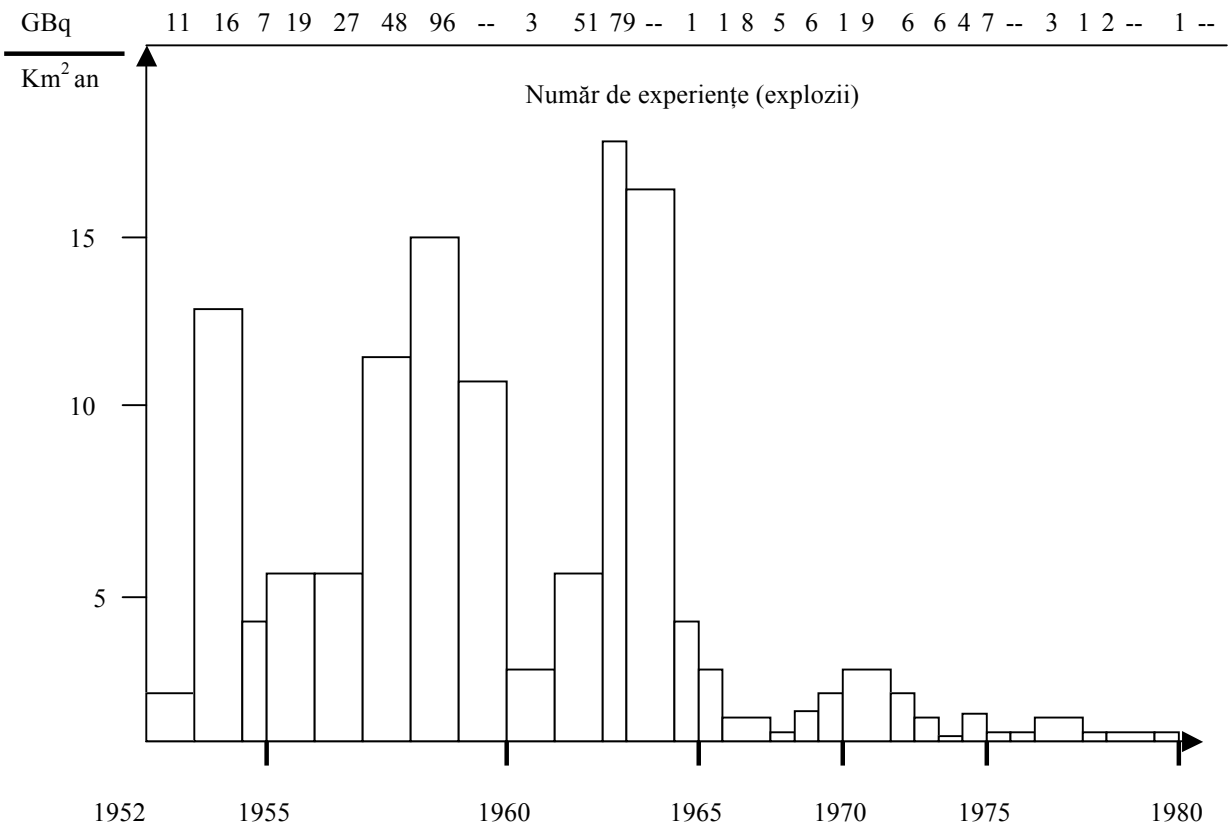
să „returneze” radiaţii cu energii mai mici. Din această cauză se poate pune în evidenţă o dependenţă a ionizărilor produse la diferite altitudini de radiaţii cosmice şi latitudinea geografică.

La limita superioară a atmosferei densitatea de flux protonic de origine cosmică depinde invers proporţional şi de ciclul de 11 ani al activităţii solare. Această dependenţă se numeşte *modulaţie*. Radiaţiile solare sunt constituite din particule alfa şi protoni de energii relativ mici (1 – 40MeV) şi ca urmare la suprafaţa Pământului nu realizează o creştere esenţială a radiaţiei de fond. Radiaţiile cosmice de energie mare ciocnindu-se cu atomii din atmosferă, pot produce reacţii nucleare având ca rezultat izotopi radioactivi ca: ^{3}H, ^{7}Be, ^{10}Be, ^{22}Na şi ^{24}Na, dar apar şi neutroni, protoni, pioni şi kaoni. Aceştia la rândul lor pot produce alte reacţii nucleare. Trebuie menţionat faptul că densitatea radiaţiilor cosmice depinde de activitatea solară, de presiunea atmosferică şi de temperatură. O altă sursă a radioactivităţii din atmosferă o constituie *poluarea radioactivă* rezultată în urma exploziilor nucleare experimentale din atmosferă şi a accidentelor de la centralele nucleare, cum ar fi cel care s-a produs la Cernobâl.

Studiind activitatea beta a apei de ploaie în perioada anilor 1952-1983, când s-au efectuat repetate explozii nucleare experimentale în atmosferă, s-au găsit următoarele rezultate:

Tabelul 1

Variaţia activităţii beta în apa de ploaie măsurată în perioada anilor 1952-1980.



Există şi metode de măsurare a concentraţiei de radon din atmosferă cu care se pot pune în evidenţă astfel de observaţii.

Din grafic, rezultă că oprirea experimentelor nucleare în atmosferă prin înțelegeri internaționale a dus la scăderea radiației nucleare de fond.

Urmărirea acestor fenomene a dus şi la un alt rezultat interesant şi anume: s-au putut pune în evidență mişcările de mase de aer în troposferă şi stratosferă ceea ce a dus la concluzii importante pentru meteorologi. O creştere a radioactivității naturale s-a putut pune în evidență şi în urma accidentului de la Cernobâl. Este interesant că s-au măsurat activități mai mari în Elveția, de exemplu, decât în Ungaria. Din România nu avem date, deoarece în perioada respectivă aşa ceva nu se comunica, sau nu se comunicau date reale.

În continuare trebuie să vorbim despre sol ca sursă de radiații nucleare căci şi radonul provine din sol. Izotopii din jurul nostru se împart în două categorii:

- izotopi primordiali (elementele din seriile toriului, uraniului şi ^{40}K);
- izotopi cosmogeni (^{7}Be, ^{22}Na, ^{24}Na).

Desigur, radiația rezultată din sol depinde de câțiva factori:

- concentrația de izotopi din sol;
- porozitatea solului;
- umiditatea solului;
- constituția solului etc.

Din măsurătorile efectuate în Uniunea Sovietică pe o suprafață de 15 milioane m^2, prin analiza a 1200 probe s-a întocmit următorul tabel:

Tabelul 2

Activitatea unor izotopi în diferite tipuri de soluri din Uniunea Sovietică

Tipul solului (culoarea)	Activitatea în sol Bq/kg			Doza gama absorbită la 1 m de la sol μGy/a
	^{40}K	^{238}U	^{232}Th	
Gri	670	30	50	650
Gri-maron	700	30	40	600
Castaniu	560	30	40	530
Negru-de-şes	410	20	35	450
Gri-de-pădure	370	20	30	300
Gri-alburiu	300	15	20	300
Media mondială	370	25	25	400

Acelaşi grup a pus în evidență faptul că există o corelare directă între conținutul de izotopi radioactivi şi granulația solului. În solurile cu diametrul granulelor mai mici de 0,02 mm concentrația de izotopi radioactivi este mai mare. Chiar la solurile care rezultă din granit, concentrația de ^{226}Ra şi ^{224}Ra a fost mai mare unde granulele au fost mai mici.

Ar mai trebui vorbit despre poluarea radioactivă ce rezultă din anumite procese industriale (de exemplu, producerea de kripton, prelucrarea deşeurilor radioactive, îngrăşămintele chimice sau dozele înmagazinate în urma unor terapii medicale etc.), dar nici aşa nu am epuiza toate sursele de radiații nucleare şi de altfel pe noi deocamdată ne interesează radioactivitatea naturală.

1.2. Interacţiunea radiaţiei nucleare cu substanţa

Această problemă ne interesează din două puncte de vedere:

a) detectarea radiației nucleare;

b) efectele biologice pe care le produce radiația nucleară.

În ambele cazuri este vorba despre absorbția energiei radiației de către substanța întâlnită, însă, există diferențe clare în privința efectelor produse, în funcție de tipul substanței.

În primul caz, la detectarea radiațiilor putem distinge două situații: substanțe anorganice şi substanțe organice.

În substanțele anorganice au loc fenomenele de ionizare şi excitarea atomilor, rezultând noi sarcini electrice, care la rândul lor pot produce efecte secundare.

În cazul substanțelor organice mai apar efectul caloric şi cel de dislocații în rețeaua cristalină (efecte ce stau la baza metodei de detecție cu detectori solizi de urme).

În cazul al doilea când ne referim la interacția radiației nucleare cu țesutul viu trebuie să distingem radiația încărcată (α, β) de cele fără sarcină electrică (γ).

Cele cu sarcină electrică au în primul rând efect ionizator care conduce la disocierea celulelor. Radiația α are o putere de penetrare mică (0,1 mm); astfel efectele produse se petrec doar la suprafață, fără efecte biologice deosebite. Prin inhalare sau înghițire ajung în organism şi se depun pe căile respiratorii; ajungând în sânge, ajung şi la diferite organe vitale producând efect în aceste locuri.

Studiul radonului are importanță deosebită tocmai din acest punct de vedere.

Radiația β are putere de penetrare mai mare, ajungând la adâncimi de ordinul milimetrilor şi are importanță pentru efectele sale asupra țesuturilor superficiale.

Radiațiile cu energii mai mari γ, dar şi α şi β, pot interacționa cu ADN-ul (acid dezoxiribonucleic) din nucleul celulei, producând modificări chimice directe, sau molecula poate fi modificată indirect, prin intermediul unui radical liber din lichidul celulei.

În ambele cazuri apar defecte celulare ce stau la baza modificărilor genetice şi a apariției cancerului.

1.3. Radonul. Proprietăţi fizice şi chimice

Radonul este un gaz inert cu moleculă monoatomică, radioactiv, cu timpul de înjumătățire de 3,823 zile, valența 1 şi densitatea mai mare ca cea a aerului. Se dizolvă în apă (după legea lui Henry) dar se dizolvă mai uşor în solvenți organici. Factorul de dizolvare în apă depinde de temperatură după legea: $\alpha' = 0{,}1057 + 0{,}405 \cdot e^{-0{,}0502t}$ (t – măsurat în °C). Pentru sânge proaspăt $\alpha' = 0{,}43$, pentru apă la 20°C, $\alpha' = 0{,}254$. Carbonul, SiO_2, Al_2O_3 absorb foarte bine radonul.

Radonul din atmosferă ajunge în organism evident prin inhalare. Radonul inhalat în plămân difuzează în sânge prin care ajunge în toate celelalte organe. După un timp, în țesuturi apare saturația care este determinată de dizolvabilitate.

Măsurătorile arată că, pentru aceasta este nevoie, în general, de 30-60 minute, iar în cazul țesuturilor de grăsime este nevoie de mai multe ore. După realizarea echilibrului repartizarea procentuală în funcție de procentul radonului în aerul inhalat este: în sânge 30%, în țesuturile moi 25-40% (în medie 30%), iar în țesuturile de grăsime chiar 70%. După atingerea saturației în țesuturi apare echilibrul între cantitatea de radon preluat şi cedat; astfel conținutul de radon al țesuturilor nu depinde de cantitatea de aer preluat pe minut de individ.

O distribuție acceptată a radionuclizilor în organism arată în felul următor:

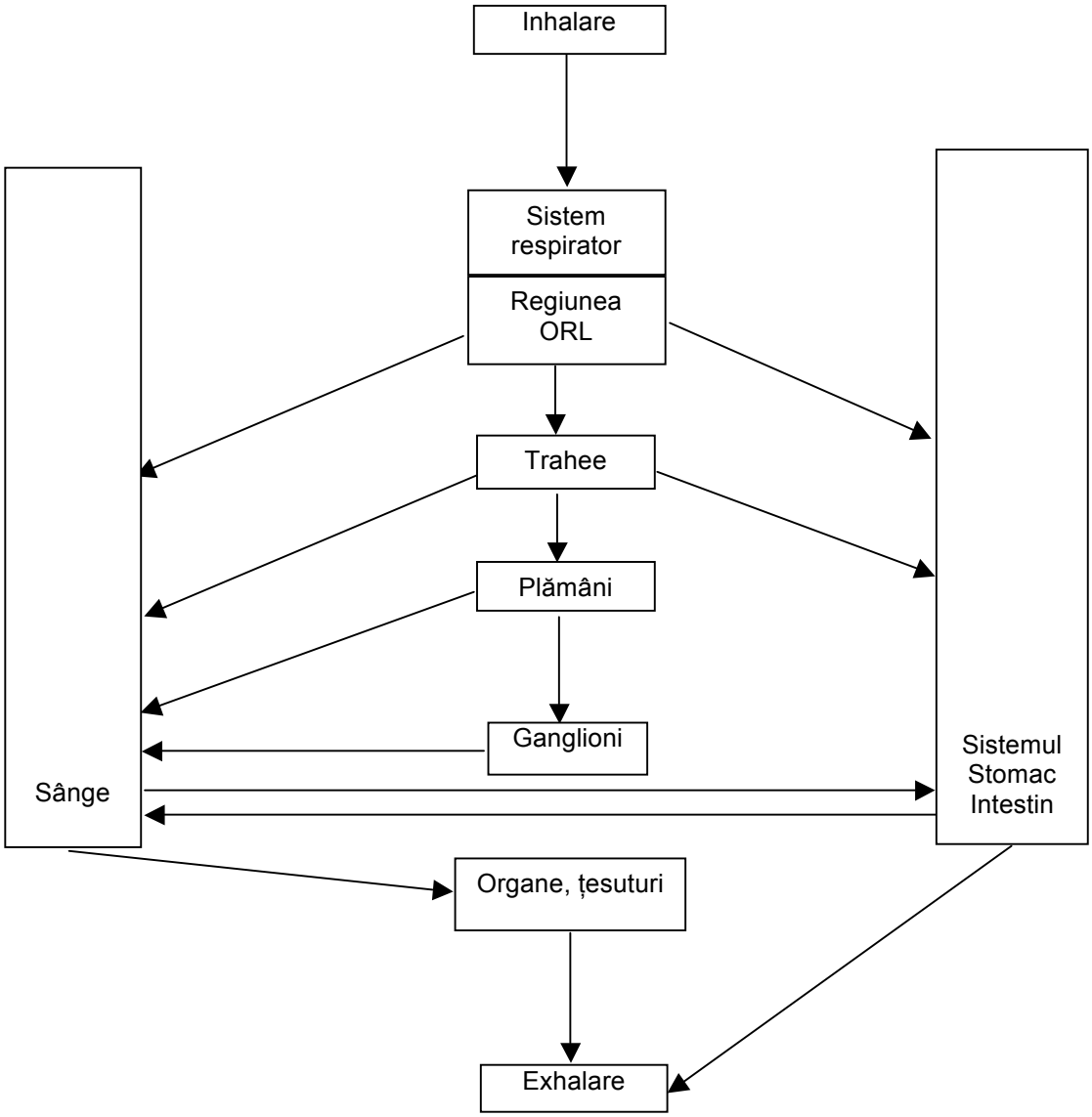


Fig. 1

1.4. Radonul în natură (aer, sol, apă)

^{222}Rn şi ^{220}Rn existente în atmosferă provin în primul rând din sol. Evident, datorită conţinutului de ^{238}U şi ^{232}Th al solului prin seriile radioactive cunoscute ale acestora. Este interesant că deşi activitatea specifică de ^{238}U şi ^{232}Th a solului este aceeaşi, exhalaţia de ^{220}Rn a solului este mai mare decât cea de ^{222}Rn căci constanta de dezintegrare pentru ^{220}Rn (45,78 h^{-1}) este mult mai mare decât cea a ^{222}Rn ($7{,}55\cdot10^{-3}$ h^{-1}). Această observaţie este valabilă atât pentru tencuială cât şi pentru camerele de locuit.

Schemele de dezintegrare pentru ^{220}Rn şi ^{222}Rn sunt următoarele:

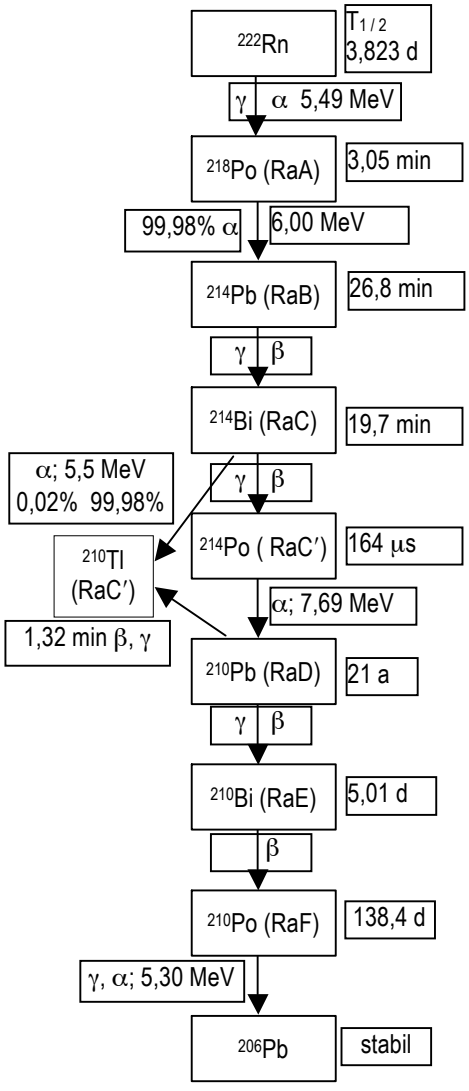


Fig. 2

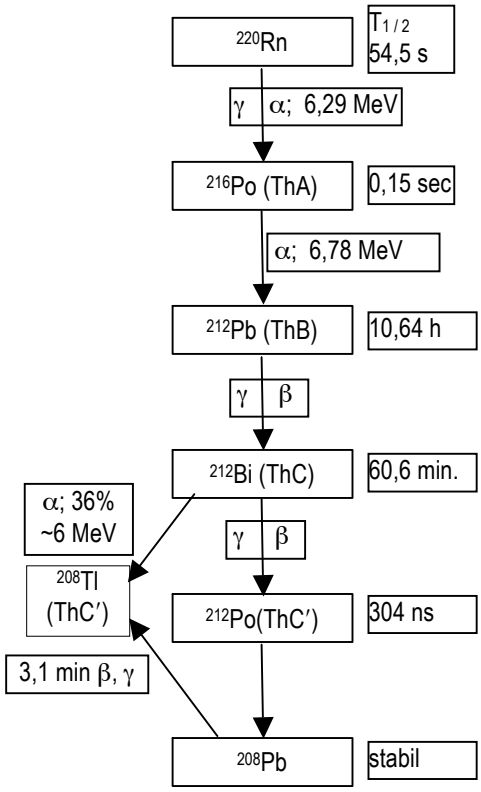


Fig. 3

Aceste două scheme sunt completate de următorul tabel.

Tabelul 3

Valori ale unor mărimi fizice specifice dezintegrării ^{222}Rn şi ^{220}Rn

Izotopi radioactivi	Timp de înjumătăţire $T_{1/2}$, [s]	Număr de atomi $\frac{[Bq]}{N_j}$ a)	Energie alfa-potenţială		Coeficientul de echivalenţă		Coeficient f_j
			[MeV/atom]E_{pj}	[MeV/Bq]$N_j E_{pj}$ b)	[redacted]	[redacted]	
^{218}Po	183	264	13,68	3612	3,6	$0,28 \cdot 10^{-4}$	0,105
^{214}Pb	1608	2320	7,68	17817	17,8	$1,37 \cdot 10^{-4}$	0,516
^{214}Bi	1182	1705	7,68	13096	13,1	$1,0 \cdot 10^{-4}$	0,379
^{214}Po	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	7,68	$1,77 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-11}$	-
$\sum N_j E_{p,j} = 34525$							
^{216}Po	0,158	0,23	14,57	3,3	0,003	$2,5 \cdot 10^{-5}$	-
^{212}Pb	38160	55053	7,79	428866	429	$33,0 \cdot 10^{-4}$	0,913
^{212}Bi	3630	5237	7,79	40796	40,8	$3,24 \cdot 10^{-4}$	0,87
^{212}Po	$3,7 \cdot 10^{-7}$	$5,3 \cdot 10^{-7}$	8,78	$4,7 \cdot 10^{-6}$	$4,6 \cdot 10^{-9}$	$3,6 \cdot 10^{-14}$	-
$\sum N_j E_{p,j} = 469666$							

Circulaţia ^{222}Rn, ^{220}Rn şi a descendenţilor lor în natură este prezentată în schema de mai jos:

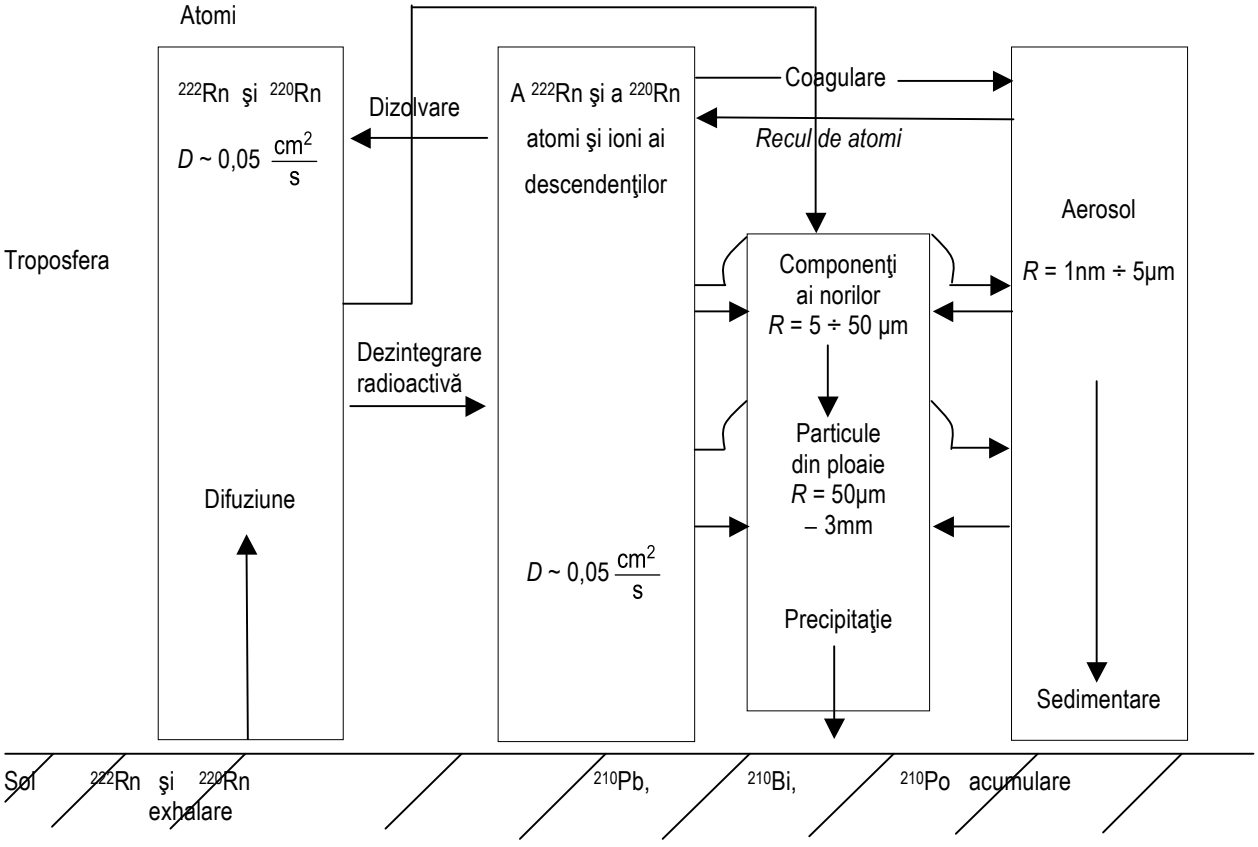


Fig. 4

După datele măsurate în întreaga lume, viteza medie de exhalare este de 1,55 mBq/m^{2}s (= 0,4pC/m^{2}s).

Concentrația medie de ^{222}Rn în apropierea solului este: C_a^0 = 2,6 Bq/m^3 = 0,07 pC/l.

La câțiva metri înălțime de sol acumularea de ^{220}Rn coincide cu acumularea de ^{222}Rn. Concentrația de Rn şi cea a descendenților săi depinde de câțiva factori ce trebuie luați în considerare:

- înălțimea de la nivelul solului;
- condițiile meteorologice:
  - presiunea atmosferică;
  - umiditatea aerului.

Viteza de exhalare din sol în aer a radonului şi a descendenților depinde iarăşi de câțiva factori legați de sol:

- starea fizică şi chimică a solului;
- umiditatea;
- porozitatea;
- temperatura.

Viteza de exhalare a radonului este micşorată de stratul de zăpadă de pe sol, creşterea presiunii atmosferice, ploaia, creşterea umidității în general.

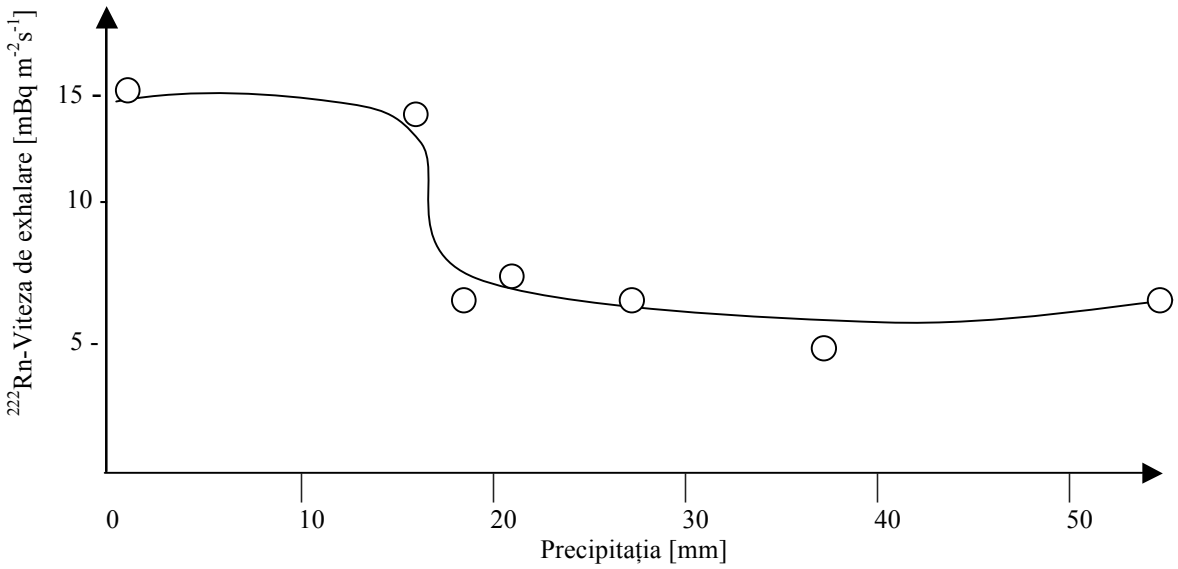


Fig. 5

Aşa arată viteza de exhalare a ^{222}Rn după ploaie, după două zile, vara, în funcție de cantitatea de precipitații. S-a măsurat şi viteza de exhalare în funcție de umiditatea solului în cazul grosimii stratului de 3 cm şi s-a găsit următorul grafic:

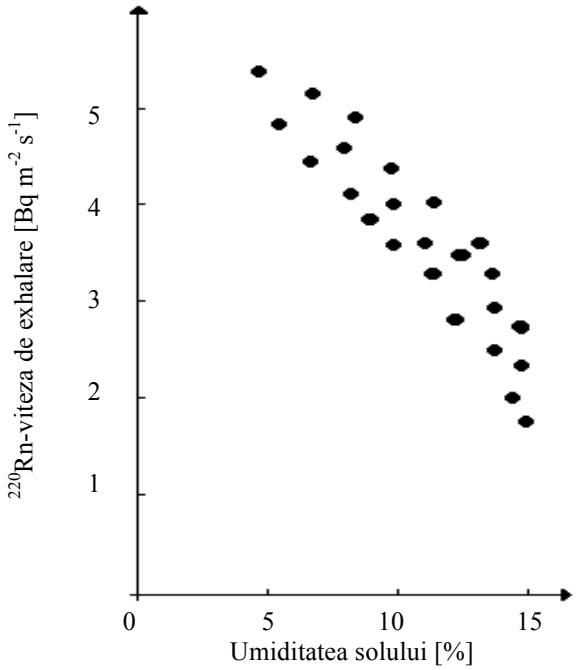


Fig. 6

Totodată, se pot pune în evidenţă şi variaţiile în cursul unei zile sau în cursul anului:

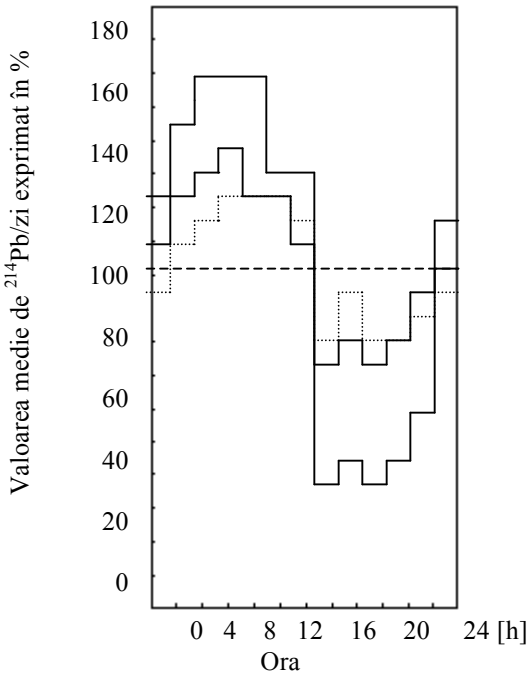


Fig. 7

Măsurătorile au fost efectuate la înălţimea de 3 m faţă de sol şi au fost trecute numai valorile medii.

Viteza de exhalare a ^{220}Rn este influențată şi de granulația solului în felul următor:

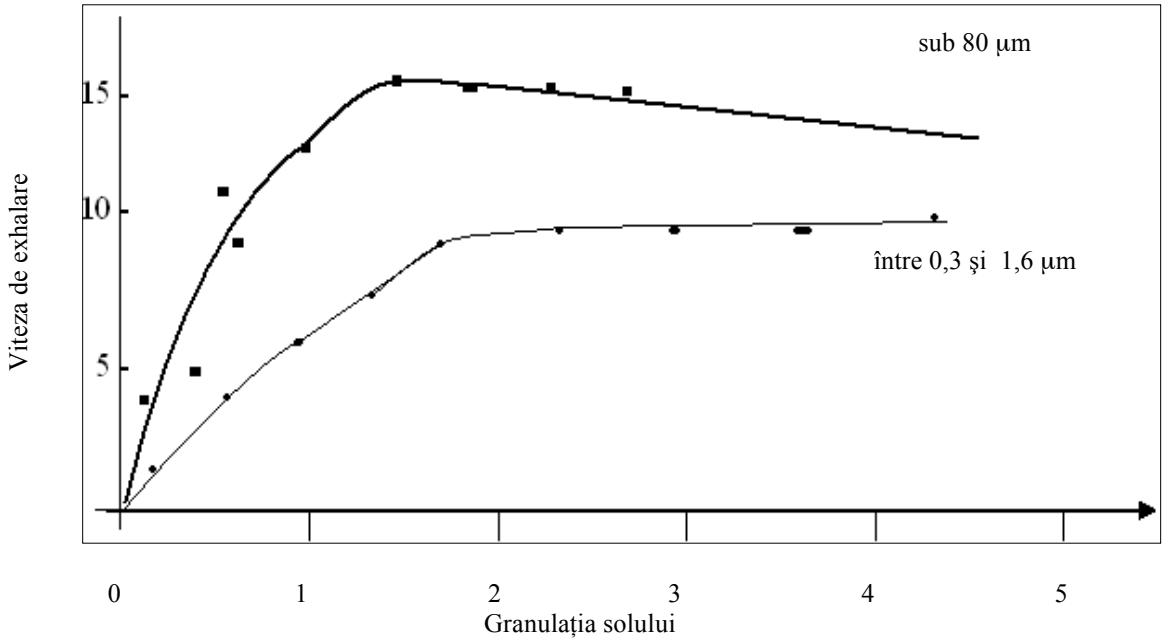


Fig. 8

Concentrația de Rn este influențată şi de condițiile geografice şi meteorologice. În general, concentrația de ^{222}Rn şi ^{220}Rn scade cu înălțimea față de sol, dar asta depinde şi de aşezarea geografică:

- 4 Bq/m^3 (= 0,1pCi/l) pe uscat;
- 0,4 Bq/m^3 (= 0,01pCi/l) pe insule şi coastă de mare;
- 0,04 Bq/m^3 (= 0,001pCi/l) în ocean şi la poli.

Pe timp de ploaie creşte câmpul electric al atmosferei şi se negativează; aceasta duce la scăderea concentrației de ioni pozitivi derivați din ^{222}Rn.

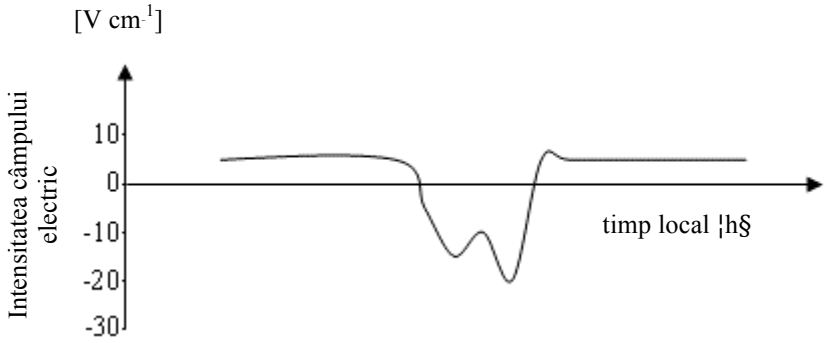


Fig. 9

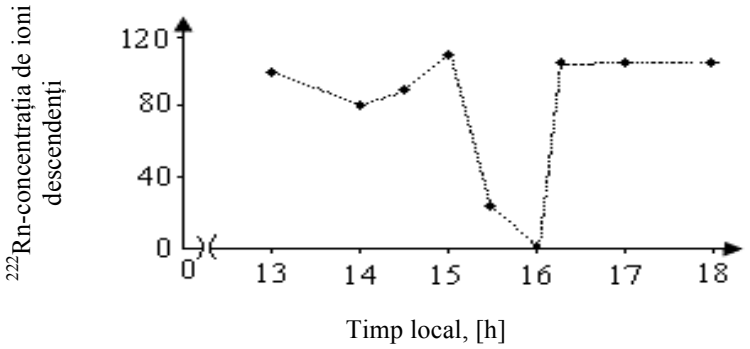


Fig. 10

Aşa arată dependenţa concentraţiei de ioni pozitivi derivaţi din ^{222}Rn, pe timp de ploaie, de variaţia intensităţii câmpului electric observat la un observator montan. După acestea, la nivel internaţional, s-au realizat cele două grafice cu valori de referinţă (fig. 9 şi fig. 10).

Valorile dozelor efective anuale cauzate de inhalarea ^{222}Rn, ^{218}Po, ^{214}Bi şi ^{214} Po în aer liber cu debitul respiraţiei de 13,8 l/min sunt prezentate în tabelul 4.

Tabelul 4

Valorile dozelor efective anuale cauzate de inhalarea ^{222}Rn, ^{218}Po, ^{214}Bi şi ^{214} Po în aer liber cu debitul respiraţiei de 13,8 l/min.

Organ, ţesut	**W_T**	**^{222}Rn**			**^{218}Po+^{214}Pb+^{214}Po**		
		Doză/ Factor de expunere [redacted]	**Doză anuală cumulată D_T [nGya^{-1}]**	**$W_T D_T$ [nGya^{-1}]**	**Doză/ Factor de expunere** [redacted]	**Doză anuală cumulată D_T [nGya^{-1}]**	**$W_T D_T$ [nGya^{-1}]**
Trahee, bronhii	0,06	-	-	-	16364	17202	1032
Plămâni	0,06	6,2	40,2	2,4	4133	4345	261
Sânge	0,06	4,1	26,6	1,6	157	165	10
Ficat	0,06	3,5	22,7	1,4	90	95	6
Rinichi	0,06	4,1	26,6	1,6	380	400	24
Glande suprarenale	0,06	9,2	59,6	3,6	40	42	3
Muşchi	0,06	3,5	22,7	1,4	13	14	1
Oase (suprafaţă)	0,03	0,9	5,8	0,2	34	36	1
Măduva (osoasă)	0,12	4,1	26,6	3,2	35	37	4
Glande genitale	0,25	5,7	36,9	9,2	8	8	2

Valorile dozelor efective anuale cauzate de inhalarea ^{220}Rn, ^{216}Po, ^{212}Pb, ^{208}Tl, în aer liber cu debitul respiraţiei de 13,8 l/min sunt prezentate în tabelul 5.

Tabelul 5

Valorile dozelor efective anuale cauzate de inhalarea ^{220}Rn, ^{216}Po, ^{212}Pb, ^{208}Tl, în aer liber cu debitul respiraţiei de 13,8 l/min.

Organ, ţesut	W_T	^{220}Rn şi ^{216}Po			^{212}Pb şi ^{208}Tl		
		Doză/ Factor de expunere [redacted]	Doză anuală cumulată D_T [nGya^{-1}]	$W_T D_T$ [nGya^{-1}]	Doză/ Factor de expunere [redacted]	Doză anuală cumulată D_T [nGya^{-1}]	$W_T D_T$ [nGya^{-1}]
Trahee, Bronhii	0,06	81	525	32	488	115	7
Plămâni	0,06	15,4	100	6	1765	414	25
Sânge	0,06	2,1	14	1	297	70	14
Ficat	0,06	0,4	3	0,2	186	44	3
Rinichi	0,06	0,8	5	0,3	450	106	6
Glande suprarenale	0,06	0,4	3	0,2	45	11	0,6
Muşchi	0,06	0,04	0	0	8	2	0,1
Oase (suprafaţă)	0,03	0,2	1	0	56	13	0,4
Măduva (osoasă)	0,12	0,4	3	0,3	130	31	4
Glande genitale	0,25	0,06	0	0	7	2	0,5

Din aceste tabele rezultă că din cauza ^{222}Rn, doza efectivă inhalată anual este de 27 μSv/a iar în cazul ^{220}Rn de 1,8 μSv/a.

1.5. Radonul în încăperi

Omul îşi petrece o mare parte din viaţă în spaţii închise (acasă, la locul de muncă) şi de aceea este important de studiat influenţa ^{222}Rn, ^{220}Rn şi a descendenţilor lor inhalaţi în încăperi. Conţinutul de ^{222}Rn şi ^{220}Rn din aerul încăperilor depinde de următorii factori:

a) conţinutul de ^{226}Ra şi ^{224}Ra al materialelor de construcţii;

b) de factorul de emanaţie al materialelor de construcţii prin care înţelegem raportul dintre activitatea radonului emanat din material şi activitatea radonului total existent în material;

c) grosimea pereţilor;

d) de lungimea de difuzie a radonului, raportată la materialul de construcţii;

e) de densitatea materialului de construcţii;

f) dacă există aflux de convexie spre interiorul încăperii prin materialul de construcţii datorită scăderii de presiune sau a variaţiei de temperatură;

g) de viteza de aerisire;

h) de distanţa dintre podea şi sol;

i) în cazul caselor cu parter, dacă există pivniţă sau nu;

j) de existenţa unui strat izolator (tapet, covor, vopsea);

k) de conţinutul de ^{226}Ra al solului de sub încăpere;

l) dacă există fisuri pe perete şi pe podea căci prin acestea poate să ajungă radonul din sol în încăperi.

Se vede deci, că materialele de construcţii au un rol important în definirea cantităţii de radon din încăpere şi de aceea este interesant tabelul următor care prezintă câteva date referitoare la conţinutul efectiv de ^{226}Ra al câtorva materiale în diferite ţări.

Tabelul 6

Conţinutul de ^{226}Ra al câtorva materiale de construcţii în diferite ţări

Materialul de construcţie	**Ţara**	**Conţinutul efectiv de ^{226}Ra (Bq/kg)**
Cărămidă	URSS	34,78
Cărămidă	Ungaria	48,1
Cărămidă	RFG	95,83
Cărămidă	RDG	58,83
Cărămidă	Suedia	95,83
Cărămidă	Norvegia	44,4
Argilă	URSS	24,05
Chirpici	Anglia	51,8
Chirpici	Ungaria	52,91
Beton	URSS	27,75
Beton	FRG	66,07
Beton	Suedia	55,87
Beton	Anglia	7,4
Beton	Norvegia	28,12

Tabelul corespunzător pentru materialele de construcţii folosite în ţara noastră arată astfel:

Tabelul 7

Conţinutul de ^{226}Ra al câtorva materiale de construcţii în România

Materiale de construcţii	**Conţinut ^{226}Ra Bq\kg**	**Conţinut ^{232}Th Bq\kg**	**Conţinut ^{40}K Bq\kg**
Cărămidă	35,89	31,82	485,81
Mortar	5,92	5,92	427,72
Prefabricat din beton	27,75	19,98	201,28
BCA	16,65	15,54	16,17

Conținutul efectiv de ^{226}Ra al materialelor de construcții se poate calcula după relația:

$$C_{\mathrm{Ra}}^{eff} = \frac{Qt}{M(1 - e^{\lambda t})} \boxed{\text{[mBq/kg].}}$$

Unde: Q_t = este conținutul de Rn emanat în atmosferă din materialul de construcție în timpul t (zi) (exprimat în mBq);

M = masa materialului de construcție (exprimată în kg);

$\lambda = 0{,}1812$ zi^{-1}, este constanta de dezintegrare a ^{222}Rn.

Experiența arată că tencuiala și straturile de vopsea micșorează mai puțin emanarea de ^{222}Rn dar pot opri total emanarea de ^{220}Rn. O influență mai mare au asupra ^{222}Rn vopselele pe bază de epoxi. Un strat triplu de vopsea de ulei scade la o zecime viteza de emanare a ^{222}Rn.

Conținutul de ^{222}Rn al aerului dintr-o încăpere este influențat, evident, de viteza de aerisire a încăperii.

Totodată, şi viteza de aerisire depinde de câțiva factori:

a) vârsta clădirii;

b) numărul de etaje (la etajele inferioare aerisirea este mai slabă, deci conținutul de ^{222}Rn este mai mare);

c) clima zonei respective (viteza vântului, direcția vântului, temperatura);

d) tehnologia de încălzire;

e) standardele de construcție (tipul izolației);

f) existența aerisirii forțate;

g) recirculare.

Determinarea vitezei de aerisire a încăperii nu este o sarcină chiar uşoară. Aceasta se face pe bază de modele. În cazul Germaniei s-au găsit următoarele valori:

a) încăperi închise în clădiri noi 0,1 – 0,5 l/h;

b) încăperi închise în clădiri vechi 0,3 – 0,8 l/h;

c) geam semideschis 0,4 – 5,0 l/h;

d) geam deschis 1,0 – 10 l/h.

Într-o încăpere concentrația de radon în aer variază în timpul zilei, pe de o parte datorită schimbărilor din atmosferă, pe de altă parte din cauza deschiderii uşilor şi geamurilor.

Măsurătorile efectuate într-o încăpere arată în felul următor:

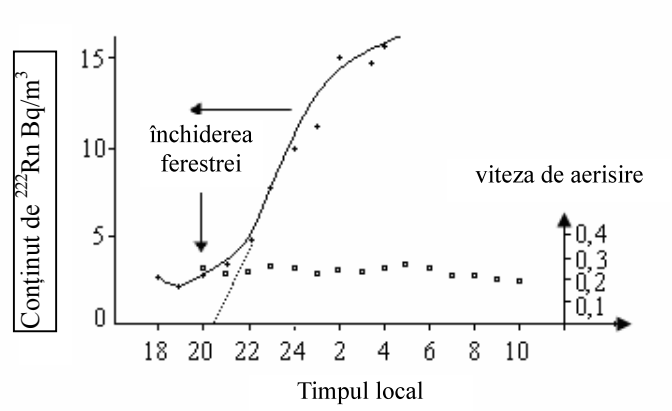


Fig. 11

Din cele discutate până acum ne putem aştepta la dependența concentrației de ^{222}Rn de înălțime. Într-adevăr măsurătorile de ^{214}Pb au dat următorul rezultat:

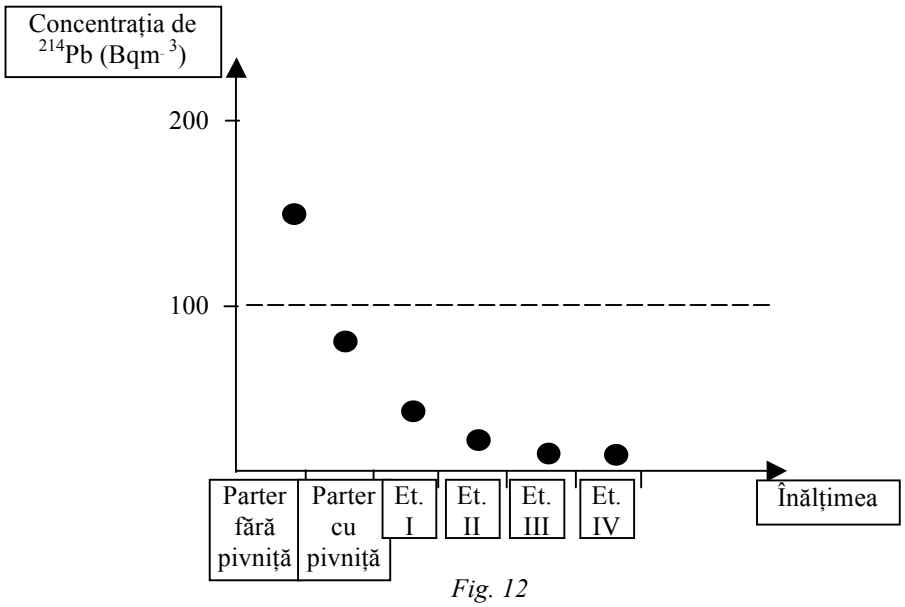


Fig. 12

Trebuie menționat faptul că măsurătorile legate de radon pot prezenta diferențe mari pentru că sunt influențate de foarte mulți factori. Putem obține valori reprezentative pentru aerul dintr-o încăpere, dacă efectuăm 4-6 măsurători în diferite etape în cursul anului.

Doza anuală şi doza echivalentă efectivă evaluată se pot vedea în tabelul următor:

Tabelul 8

Doza anuală şi doza echivalentă efectivă evaluate pentru diferite organe şi ţesuturi

Organ, ţesut	**$^{\omega}T$**	**^{222}Rn**			**^{218}Po+^{214}Pb+^{214}Po +^{214}Bi**		
		Doză/Factor de expunere [redacted]	**Doză anuală cumulată D_T [nGya^{-1}]**	**$^{\omega}T$ D_T [nGya^{-1}]**	**Doză/ Factor de expunere** [redacted]	**Doză anuală cumulată D_T [nGya^{-1}]**	**$^{\omega}T$ D_T [nGya^{-1}]**
Trahee, bronhii	0,06	-	-	-	16364	344037	20642
Plămâni	0,06	6,2	965	58	4133	86892	5214
Sânge	0,06	4,1	638	38	157	13301	198
Ficat	0,06	3,5	545	33	90	1892	114
Rinichi	0,06	4,1	638	38	380	7989	479
Glande suprarenale	0,06	9,2	1431	86	40	841	50
Mușchi	0,06	3,5	545	33	13	273	16
Oase (suprafață)	0,03	0,9	140	4	34	715	21
Măduva (osoasă)	0,12	4,1	638	77	35	736	88
Glande genitale	0,25	5,7	887	222	8	168	42

Din tabel rezultă că pentru Q_a = 20 doza echivalentă efectivă anuală este 550 μSv/a.

Deoarece locatarii unei locuințe activează în timpul zilei în locuri diferite rezultă că doza anuală primită per individ trebuie să fie diferită:

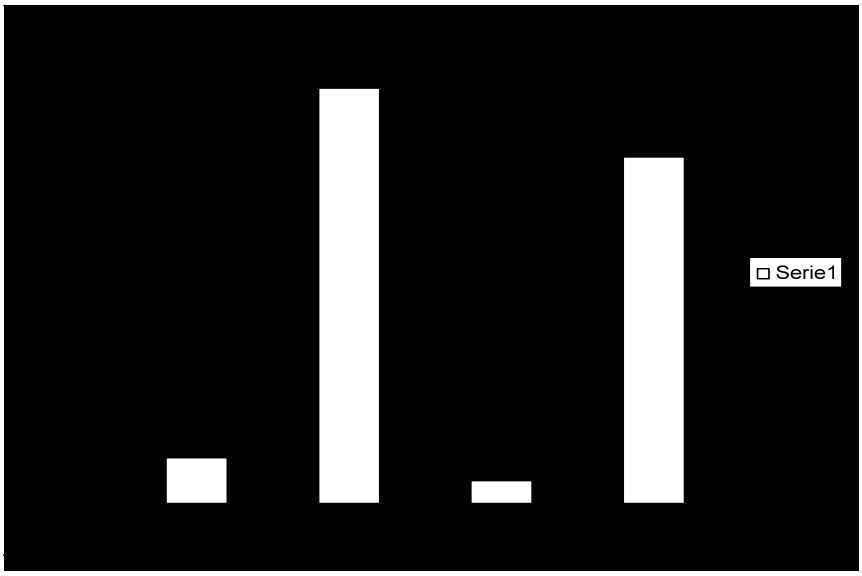


Fig. 13

1.6. Radonul în organism

Trebuie menționat de la bun început faptul că radonul în organism se dezintegrează în continuare iar elementele astfel apărute sunt de aceeaşi importanță ca şi radonul. Tabelul anterior conține şi elementele rezultate prin dezintegrarea radonului.

Radonul inhalat şi descendenții acestuia sunt reținuți în proporție de 20-80% la fiecare respirație, deci doza cedată căilor respiratorii depinde de acest factor. Este demonstrat faptul că doza şi raportul doză/expunere depind de următorii factori:

- proprietățile fizice ale aerosolilor inhalați (dimensiunile granulelor de praf);
- modul de inhalare (respirație prin nas, respirație prin gură);
- viteza şi profunzimea respirației (volum pe minut);
- forma plămânilor;
- parametrii sistemului respirator al omului.

Descendenții liberi se depun pe părțile superioare ale sistemului respirator, iar cei fixați pe aerosoli se depun în regiunea plămânilor. Experiența măsurătorilor arată că înainte de dezintegrare părăsesc plămânii descendenții ^{222}Rn în proporție de 33%, iar descendenții ^{220}Rn în proporție de 50%. Din acest motiv scade doza în regiunea plămânilor cu 33 respectiv 50% dar creşte doza în celelalte organe. În tabelul următor se dau câteva valori ale raportului doză/expunere în cazul inhalării unor descendenți de dezintegrare ai ^{222}Rn şi ^{220}Rn:

Tabelul 9

Valori ale raportului doză/expunere în cazul inhalării unor descendenţi de dezintegrare ai ^{222}Rn şi ^{220}Rn în organele respiratorii

Regiune	f_p	**Doză/expunere, rotunjit**					
		[mGyWLM^{-1}]		**nGy h^{-1}/WL**		**nGy/(Bq h m^3)**	
		Produs ^{222}Rn	**Produs ^{220}Rn**	**Produs ^{222}Rn**	**Produs ^{220}Rn**	**Produs ^{222}Rn**	**Produs ^{220}Rn**
Trahee, bronhii	0	2,14	0,083	12588	488	3,52	1,86
	0,02	2,40	0,091	14099	537	3,94	2,05
	0,05	2,78	0,104	16364	610	4,58	2,33
Plămâni	0	1,104	0,60	4351	1765	1,86	14,1
	0,02	1,082	0,59	4264	1730	1,82	13,8
	0,05	1,049	0,57	4133	1677	1,77	13,4

f_p – concentrația de energie alfa.

Este interesant de observat şi trebuie ținut cont de faptul că organismul uman în dezvoltare prezintă sensibilitate diferențiată la dozele radioactive suferite:

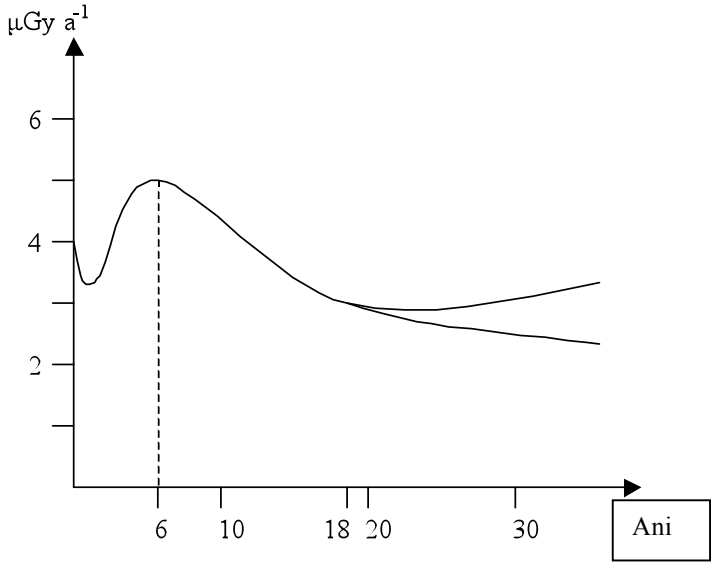


Fig. 14

– de remarcat maximul ce apare la vârsta de 6 ani.

Pe baza unor experienţe efectuate s-a realizat tabelul următor luând ca bază respiraţia continuă cu un debit de aer 13,8 l/min. Aceste valori pot să ne ajute la evaluarea dozei efective anuale.

Tabelul 10

Valori ale raportului doză/expunere în cazul unor descendenţi de dezintegrare ai ^{222}Rn şi ^{220}Rn în organe

Organ, ţesut	**Factori de calcul dozimetric**					
	^{222}Rn	**^{218}Po – ^{214}Po**		**^{220}Rn – ^{216}Po**	**^{212}Pb – ^{208}Tl**	
	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
Sânge	4,1	157	42,4	2,1	297	1081
Ficat	3,5	90	24,3	0,4	186	678
Rinichi	4,1	380	103,0	0,8	450	1638
Glande suprarenale	9,2	40	11,0	0,4	45	165
Muşchi	3,5	13	3,5	0,04	8	30
Oase (suprafaţă)	0,9	34	9,2	0,2	56	203
Măduva (osoasă)	4,1	35	9,5	0,4	130	473
Glande genitale	5,7	8	2,2	0,06	7	27
Plămâni	6,2	–	–	15,4	–	–

Acest tabel trebuie completat cu un altul ca să luăm în considerare debitul real de aer inhalat, căci modelul folosit anterior nu ia în considerare anumiţi factori:

Tabelul 11

Factori de corecţie pentru tabelul 10, privind debitul de aer inhalat

Gen	**Somn**	**Muncă uşoară**	**Plimbare**	**Muncă grea**
Bărbat	0,52	2,0	3,0	4,3
Femeie	0,35	1,2	1,5	1,8

Capitolul II

Detectarea radiaţiilor nucleare

Până acum am vorbit despre radiaţii nucleare, concentraţii, flux de radiaţii, dar nu am vorbit despre modul cum se pot obține aceste informaţii. Evident prima dată trebuie ca aceste radiaţii să fie detectate. În acest capitol vom vorbi pe scurt despre natura radiaţiilor şi posibilitatea detectării acestora.

Ne-am axat numai pe radiaţiile α şi β deoarece a existat posibilitatea detectării şi mai ales pentru faptul că metodele de determinare a concentraţiei de radon folosite pentru această lucrare se bazează pe astfel de măsurători.

2.1. Detectarea radiaţiei α

Problema fundamentală în detectarea radiaţiei α o reprezintă distanţa de penetrare mică în substanţe. Un strat de aer de câţiva cm sau peretele detectorului deja ne pot duce la imposibilitatea detectării radiaţiei.

Radiaţia α, însă, are o capacitate mare de ionizare ceea ce îi asigură, dacă a ajuns în zona sensibilă a detectorului, capacitatea de a ceda energia în această zonă; deci există probabilitate de detecţie de 100%. Pentru detecţie se pot folosi: camera de ionizare, numărător proporţional, tub Geiger-Müller, numărător cu scintilaţie şi detector cu semiconductori. Cu excepţia tubului G-M, toate celelalte detectoare sunt bune şi pentru determinarea energiei radiaţiei. Radiaţia α, de obicei, este urmată şi de o radiaţie γ. De aceea, dacă se foloseşte un contor G-M prin care circulăm gazul şi facem două măsurători, odată cu folie absorbantă şi odată fără, atunci, prima măsurătoare ne dă intensitatea radiaţiei γ iar a doua măsurătoare, intensitatea radiaţiei γ + α.

2.2. Detectarea radiaţiei β

În cazul radiaţiei β este util să împărţim substanţele care emit radiaţii β în mai multe grupe din punct de vedere al tehnicii de măsurare:

1. emiteri de radiaţii β moi: $E_{max} < 0{,}2$ MeV (^{3}H, ^{14}C, ^{35}S);
2. emiteri de radiaţii β pure: $E_{max} > 0{,}2$ MeV (^{32}P, ^{204}Tl) şi nu există radiaţii γ;
3. emiteri mixte: (^{65}Zn, ^{137}Cs, ^{60}Co, ^{131}I) pe lângă radiaţii β există şi radiaţii γ.

În primul caz, datorită energiilor mici, puterea de penetrare este mică şi apar probleme de detectare asemănătoare cu cele de la radiaţia α.

În general puterea de ionizare a radiaţiilor β este cu mai multe ordine de mărime mai mică decât a radiţiei α, deci puterea de penetrare este mai mare. Detectarea radiaţiei β de energie medie se realizează cu tub G-M sau cu detector plastic cu scintilaţie.

La tuburile G-M geamul de detectare se realizează din plăci de mică cu grosimea 1,5-3,5 mg/cm^2. Particulele care ajung în detector ionizează gazul din detector cu probabilitatea de 100% dar aceste semnale nu se pot folosi pentru măsurători de energie a radiaţiilor. Timpul mort al unui tub G-M este aproximativ 100μs ceea ce permite o viteză de numărare a radonului de 10^4 imp/min. Această viteză de numărare în cazul nostru este suficientă.

2.3. Numărătorul Geiger-Müller (G-M)

Numărătorul Geiger-Müller este cel mai răspândit şi poate detecta radiaţiile α, β, γ.

Forma tubului este cilindrică, astfel încât peretele este catodul, iar firul subţire de pe axa cilindrului este anodul. Intensitatea câmpului electric din tub este dată de relaţia:

$$E = \frac{U}{r \cdot \ln b/a}, \text{ unde}$$

r – este distanţa radială măsurată de la axă;
b – raza cilindrului;
a – raza firului.

Intensitatea câmpului electric în tub are simetrie cilindrică. Dacă folosim argon ca gaz de umplere pentru tubul G-M la presiunea de 10^5 Pa drumul liber mediu al moleculelor de argon la temperatura camerei este $2 \cdot 10^{-4}$ cm. Luând ca bază energia de ionizare a argonului de 15,7 eV atunci pentru accelerarea corespunzătoare a electronilor este nevoie de o intensitate a câmpului de 10^4 V/cm. În domeniul presiunilor de 10^4 Pa distanţa r corespunzătoare este de aproximativ $2 \cdot 10^{-2}$ cm, deci avalanşa de ionizare poate să apară în interiorul cilindrului cu această doză (U = 1000V, b/a = 18/0,012).

În regiunea G-M, tensiunea aplicată accelerează ionii primari în aşa măsură, că vor apărea ionizări secundare repetate (apare avalanşa de ioni), deci apare un număr mare de electroni şi ioni pozitivi în jurul anodului. Producerea de electroni şi neutralizarea acestora produce în circuitul electronic un impuls electric bine sesizabil. Fenomenul însă are şi alte urmări. În urma neutralizării, proporţional cu valoarea impulsului scade rezistenţa tubului şi

tensiunea pe acesta. Astfel, câmpul electric existent nu mai poate întreține avalanşa de ioni şi nu este suficient nici pentru accelerarea unei particule nou sosite pentru a produce aceste noi ionizări.

Timpul care se scurge de la pornirea impulsului şi atingerea tensiunii de funcționare se numeşte timpul mort al detectorului, iar timpul până la atingerea tensiunii de regim normal se numeşte timp de regenerare. Pe perioada timpului mort detectorul nu sesizează particulele sosite, deci numărătorul nu le înregistrează. Numărul de particule nesesizate este funcție de intensitatea radiației şi de timpul mort. De fapt, timpul mort determină şi viteza de numărare maximă la care încă greşeala tipică nu este mai mare de o anumită valoare. Astfel, timpul mort este o caracteristică a detectorului G-M.

Nu intrăm mai mult în amănuntele funcționării tubului G-M căci noi nu vrem să construim un tub G-M ci numai să-l folosim. În acest sens suntem interesați mai mult de factorii de influență externi. În acest scop trebuie studiată caracteristica tubului G-M.

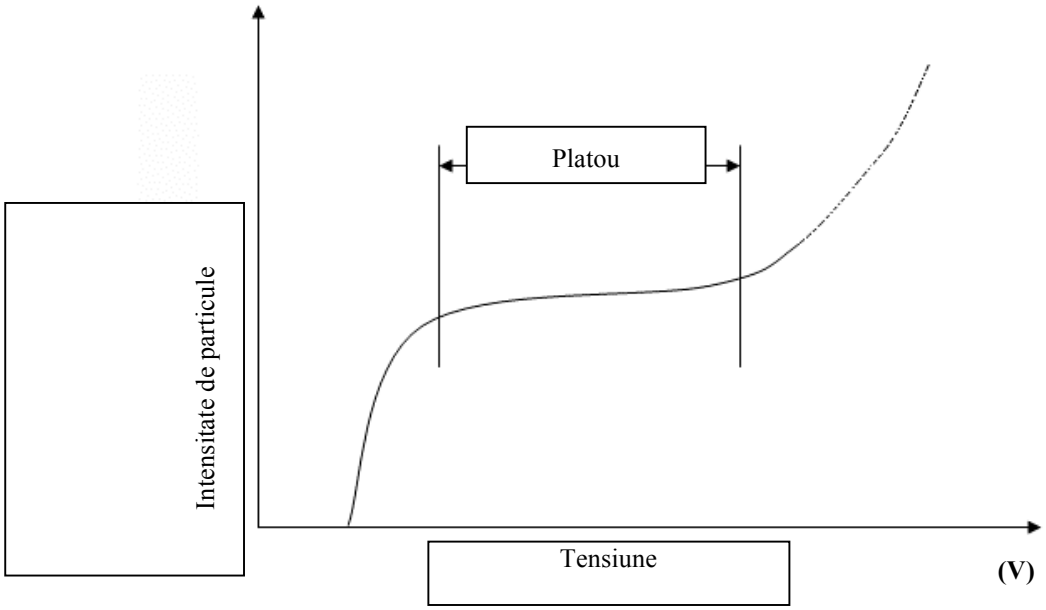


Fig. 15

Aparatura electronică legată de tubul G-M sesizează semnal dacă impulsul tensiunii de ieşire este destul de mare. Aparatura este de obicei atât de sensibilă încât sesizează deja semnale cu valori sub regiunea G-M. După tensiunea de pornire cu o variație de 30-40 V (zona cotului) ajungem într-o regiune a tensiunilor unde viteza de numărare depinde mai puțin sau chiar deloc de tensiune (platou). După o anumită valoare a tensiunii apare descărcarea continuă.

Punctul de lucru al tubului trebuie să fie în prima treime a platoului, destul de departe de zona descărcărilor continue. Trebuie avut grijă ca măsurătorile să se facă întotdeauna la aceeaşi tensiune pe punctul de lucru. La caracterizarea tubului G-M elemente importante sunt:

– regiunea de funcționare;

– lungimea platoului;
– panta.

Un tub este cu atât mai bun cu cât platoul este mai lung şi are panta cât mai mică. În cazul aparaturii portabile este importantă şi tensiunea de lucru mică. În zilele noastre la un tub G-M tensiunea de lucru de 300-400 V şi panta de 1-2% este o cerinţă de bază. Un tub prezintă uzură dacă lungimea platoului scade sub 100 V şi panta este peste 10-20%. Regiunea de funcţionare este definită de calitatea gazului de umplere, cantitatea acestuia şi geometria tubului.

Trebuie avut în vedere faptul că la tuburile G-M caracteristica se modifică în timpul folosirii; aceasta trebuie verificată (ridicată) din când în când.

2.4. Detectorul de urme nucleare cu corp solid

O metodă de măsurare integrată este dezvoltată din anii 1968-1970 deoarece este aplicabilă atât pentru radiaţii cu sarcina electrică, cât şi pentru neutroni sau radiaţie γ. Se numeşte detector de urme nucleare cu corp solid (track etch detector) şi pot fi folosite atât materiale neorganice (mica, sticla) cât şi materiale organice (materiale plastice).

Principiul de măsurare se bazează pe faptul că în urma interacţiei radiaţiei cu substanţa, datorită efectelor de ionizare calorice sau de dislocaţie, apar urme vizibile cu microscopul în substanţele folosite. Aceste urme pot fi accentuate (scoase în evidenţă) printr-un proces chimic ce se numeşte *developare*.

Urmele apar doar dacă energia incidentă are valoarea suficient de mare pentru a-şi produce efectul. Deci avem o dependenţă de material. Pentru materialele anorganice (cristale, sticlă) apar urme developabile dacă la 1 mg/m² substanţă avem o energie incidentă mai mare de 15 MeV.

La substanţele organice pragul este ceva mai mic (4MeV pentru 1g/cm² substanţă).

Pentru substanţele organice cauza apariţiei urmelor este apariţia electronilor de mică energie pe traiectoria radiaţiei incidente (electronii delta) ce transportă o doză de ordinul 10-100 kGy.

Este cunoscut faptul că în urma acestor efecte, în materialele plastice, viteza de corodare creşte în jurul acestor traiectorii.

Iată câteva substanţe folosite şi metoda de developare:

Tabelul 12

Substanţa detectorului	**Metoda de developare (substanţa corozivă, temperatura, timpul de corodare)**
acetat de celuloză (Triafol A)	28% KOH, 60°C, 30 min
nitrat de celuloză	28% KOH, 23°C, 30 min
policarbonat (Makrofol, Lexan)	6,25 N, KOH, 70°C, 10 min
poli-metil-metacrilat (plexi)	$KMnO_4$ saturat, 85°C, 50 min
alildiglicol (CR 39)	Vom vorbi pe larg în capitolul III
labradovit	KOH, 220°C, 8 min
cuarţ (SiO_2)	KOH, 210°C, 10 min KOH, 150°C, 3 h 48% HF, 23°C, 24 h
mică muscovit	48% HF, 23°C, 30 min
sticlă (Na-Ca)	48% HF, 23°C, 3 s

Este important de menționat că numărul de urme este proporțional cu intensitatea radiației, deci se pot face şi măsurători dozimetrice.

Este important şi faptul că pentru fiecare caz există metode de măsurare elaborate, care trebuie aplicate cu cea mai mare strictețe. Un exemplu este şi măsurarea radonului, prezentată în capitolul III.

Apendix 1

a) Caracterul statistic al dezintegrării. Reproductibilitatea şi precizia măsurătorilor

În cazul radioizotopilor este important de cunoscut tipul radiației, intensitatea şi variațiile de intensitate. Alegerea aparatului, analiza rezultatelor de măsurare fac parte din domeniul tehnicii de măsurare. Fiecare caz prezintă probleme particulare, dar există legități care se pot aplica sau trebuie aplicate aproape în fiecare situație. O regulă generală este aceea că rezultatele de măsurare trebuie reevaluate din punct de vedere al reproductivității şi preciziei.

În acest scop, trebuie să introducem câteva noțiuni de bază:

– defect de măsurare (precizia): abaterea dintre valoarea măsurată şi cea reală;

– reproductibilitatea măsurării: abaterea apărută la valorile măsurate (împrăştierea).

Defectele de la măsurare sunt cauzate de greşelile regulate şi cele întâmplătoare. Greşelile regulate sunt introduse de particularitățile metodei folosite, greşelile întâmplătoare sunt cauzate de condițiile de experimentare, care de obicei sunt întâmplătoare, necontrolabile.

Trebuie menționat că atunci când introducem corecții empirice în vederea reducerii greşelilor sistematice, cu greşelile întâmplătoare ale corecțiilor mărim numărul greşelilor întâmplătoare, deci împrăştierea.

În cazul detectării radiațiilor nucleare apare fluctuația numărului de dezintegrări. Această fluctuație este cu atât mai mare cu cât numărul de nuclee studiate este mai mic. Aplicând legitățile statisticii se poate calcula greşeala întâmplătoare cauzată de natura statistică a dezintegrării. Interacțiunea dintre radiație şi substanță este tot de natură statistică, dar totodată la baza detectării stă o interacțiune. Pe de altă parte, sistemul electronic pentru prelucrarea semnalelor este supus fluctuațiilor aleatorii. Deci la detecție, independent de natura statistică a dezintegrării, apar fluctuații necontrolabile ce se regăsesc în rezultatele măsurătorilor şi deci influențează reproductibilitatea acestora.

Ca urmare la studiul dezintegrării radioactive, pe lângă metodele clasice de determinare a abaterilor, trebuie luată în considerare şi natura statistică a fenomenului studiat şi totodată, natura statistică a fondului.

b) Erori întâmplătoare posibile la tehnica de măsurare nucleară

Sub acest titlu vom clasifica într-un fel erorile întâmplătoare posibile în tehnica de măsurare nucleară:

I. Fluctuația dezintegrării radioactive.

II. Fluctuații apărute la detectarea radiației nucleare:

1. Fluctuațiile caracteristicilor detectorului:

a) timpul mort;
b) temperatura, tensiunea;
c) fluctuațiile activității de fond (din laborator şi cel natural).

2. Fluctuații apărute la aparatura electronică:
a) „zgomotul” aparaturii electrice;
b) timpul mort;
c) înregistrarea.

III. Fluctuațiile greşelilor regulate cauzate de sistemul de măsurare:
1. Fluctuația intensității radiației în fața detectorului:
a) absorbția (în aer, pe geamul detectorului);
b) apariția de radiații secundare înaintea ajungerii în detector;
c) autoabsorbția;
d) împrăştierea, adică fluctuația acestora.
2. Schimbările, variațiile întâmplătoare ale geometriei sursei de radiații şi ale detectorului.

Aici facem observația că în calculul erorilor, cel mai des se foloseşte deviația standard pentru fiecare măsurare:

$$(sd) = \left[\frac{\sum(\overline{n} - n)^2}{z - 1}\right]^{\frac{1}{2}}$$

şi deviația standard corectată medie: $(Sd) = \left[\frac{\sum(\overline{n} - n)^2}{z(z-1)}\right]^{\frac{1}{2}}$

unde $\overline{n}$ este valoarea medie aritmetică a z măsurători.

c) Împrăştierea cauzată de natura statistică a dezintegrării

Aplicarea distribuţiei binomiale la dezintegrarea radioactivă.

Observăm un timp t un sistem format din N_0 particule având constanta de dezintegrare λ. Probabilitatea ca un nucleu să nu se dezintegreze este: $e^{-\lambda t}$, deci probabilitatea ca nucleul să se dezintegreze este: $P = 1 - e^{-\lambda t}$

Dacă $\frac{N_0!}{(N_0 - n)!\,n!} = \frac{N_0}{n}$ este combinația de ordinul n a N_0 elemente, atunci probabilitatea $W_{(n)}$ ca din N_0 nuclee în timpul t să se dezintegreze n nuclee, dacă $N_0 >> 1$ şi $n << N_0$ este $W_n = \frac{N_0!}{(N_0 - n)!\,n!}(1 - e^{-\lambda t})^n (e^{-\lambda t})^{(N_0 - n)}$.

Valoarea medie a numărului de nuclee dezintegrate în timpul t :

$$\overline{n} = N_0(1 - e^{-\tau t}) = \frac{\sum n_i}{z}$$

unde z este numărul de observări (măsurări).

Dacă notăm cu $(sd)_n$ deviația standard la care ne aşteptăm:

$$(sd)_n^2 = \sum_{n=0}^{n=N_0}(\overline{n} - n)^2, \qquad W_{(n)} = [\,N_0 \cdot P(1\text{–}p)], \qquad (sd)_n = (\overline{n} \cdot e^{-\lambda t})^{\frac{1}{2}}$$

şi dacă $\tau \cdot t << 1$ (adică timpul de observare este mic față de timpul de înjumătățire), $(sd)_n = \sqrt{\overline{n}}$. (*)

Dacă notăm cu *c* probabilitatea ca o particulă ajunsă în detector să producă şi un semnal electric, atunci probabilitatea totală a dezintegrării şi a detecţiei este:

$$P = (1 - e^{-\lambda t}) \cdot c$$

Dacă $\lambda \cdot t << 1$ obţinem relaţia (∗), dar în acest caz $\overline{n}$ reprezintă media aritmetică a incidenţelor.

Aproximând: $e^{-\lambda t} \sim 1 - e^{\lambda t}$

$$x! \sim (2\pi x)^{1/2} e^{-x} x^x; \quad \left[1 - \frac{n}{N_0}\right] N_0 \approx \lim N_0 \to \infty; \left[1 - \frac{n}{N_0}\right] N_0 = e^{-n}$$

atunci $W_n = \frac{\overline{n}^n \cdot e^{-n}}{n!} f_p$, unde $f_P = \exp[-(\overline{n} - n)^2 / 2 N_0] \exp \frac{n}{2N_0}$.

Distribuţia Poisson înseamnă o bună aproximare în condiţiile $N_o \geq 100$, $\lambda t \geq 0{,}01$.

Dacă $n > 100$, $(\overline{n} - n) << \overline{n}$, atunci $W_{(n)} = (2\pi\, n)^{1/2} [\exp \frac{-(\overline{n} - n)^2}{2\overline{n}}]$ şi acum trebuie să ne aşteptăm la: $(sd)_n = \pm \sqrt{n}$

Dacă derivaţia de la valoarea medie este ε, atunci: $W_{(E)} = \frac{(2/\pi)^{\frac{1}{2}}}{(sd)} e^{-\frac{\varepsilon}{(sd)^2}}$

unde $(\overline{n} - n) = \varepsilon$.

Dacă $\frac{\overline{n} - n}{(sd)} = k$, atunci probabilitatea ca deviaţia absolută să fie mai mare decât $k \cdot (sd)$: $P_{[k(sd)]} = \int_{k(sd)}^{\infty} W(\varepsilon) d\varepsilon$.

Împrăştierea ne dă fluctuaţia medie în jurul valorii probabile. Dacă de exemplu dorim să avem erori mai mici de cele date la 50% din măsurători, vorbim despre eroare probabilă. Eroarea medie statistică sau deviaţia standard este o erore faţă de care în 68,27% din măsurători vom găsi erori mai mici. Dacă integrăm funcţia Gauss între limitele $\overline{n} \pm \sqrt{\overline{n}}$ vom găsi ca rezultat 0,6827. Deci în cazul valabilităţii funcţiei, 68,27% din măsurători vor cădea în intervalul $\overline{n} \pm \sqrt{\overline{n}}$. Deviaţia standard în acest caz este tocmai $\pm \sqrt{\overline{n}}$.

Din tabelul următor reiese, în cazul diferiţilor factori de înmulţire, integrând pe intervalul $\overline{n} \pm \sqrt{\overline{n}}$, cât la sută din măsurători vor cădea în acest interval.

Tabelul 13

Tipuri de erori ce intervin în măsurători

a	**Procentul numărului de măsurători care cade în intervalul** $\overline{n} \pm \sqrt{\overline{n}}$	**Denumirea erorii**
0,5645	50,00	Eroare posibilă
1,0000	68,27	Deviația standard
1,6449	90,00	Eroare 9/10 (eroare 90%)
1,9600	95,00	
2,0000	95,45	Eroare medie statistică dublă (eroare 95%)
2,5758	99,00	Eroare 99/100
3,0000	99,73	Eroare medie statistică triplă
3,2905	99,90	Eroare 999/1000

În tabelul următor se poate vedea până la câte impulsuri trebuie efectuată măsurarea în cazul unei erori relative prestabilite.

Tabelul 14

Număr de impulsuri necesare la măsurare pentru o valoare a erorii relative prestabilite

Număr impulsuri	$\sqrt{\overline{n}}$	**Probabilitatea (Eroare 50%)**	**Deviaţia standard**	**Eroare 95,4%**
10	3,61	21,3%	31,6%	63,2%
40	6,32	10,65%	15,8%	31,6%
100	10,00	6,74%	10,00	20,0%
400	20,0	3,37%	5,00%	10,0%
1000	31,6	2,13%	3,16%	6,32%
4000	63,2	1,06%	1,58%	3,16%
10000	100,0	0,67%	1,00%	2,00%
40000	200,0	0,39%	0,50%	1,00%
100000	316,2	0,21%	0,31%	0,63%

d) Împrăştierea ce apare la numărarea de impulsuri (particule)

Presupunând că erorile întâmplătoare la numărarea de impulsuri sunt cauzate de natura statistică a dezintegrării şi împrăştierea apărută la măsurarea timpului poate fi neglijată, atunci numărul de impulsuri este dat de relația $\overline{n} \pm \sqrt{\overline{n}}$.

Asta înseamnă că 32% este probabilitatea ca valoarea reală medie să difere mai mult de *n*, decât $\sqrt{\overline{n}}$.

Viteza de numărare (intensitatea de particule) $i = \frac{n}{t}$; deviaţia standard de numărare

$$(sd)_i = \frac{(sd)_n}{t} = \frac{\pm\sqrt{n}}{t} = \pm\sqrt{\frac{n}{t^2}} = \pm\sqrt{\frac{i}{t}}$$

deci $i \pm (sd)_i = i \pm \sqrt{\frac{i}{t}}$; deviaţia procentuală: $i \pm \frac{\sqrt{\frac{i}{t}}}{i}100\% = i \pm \frac{100}{\sqrt{it}}\% = i \pm \frac{100}{\sqrt{n}}\%$

e) Erorile cauzate de radiaţia de fond

Dacă în timpul măsurătorilor radiaţia de fond nu prezintă fluctuaţii esenţiale, atunci trebuie determinat fondul astfel încât deviaţia $(sd)_f$ a fondului să fie cu cel puţin un ordin de mărime mai mică (deci neglijabilă) decât deviaţiile standard $(sd)_f$ ale măsurătorilor.

Numărul minim de impulsuri ce se ia încă în considerare:

$$n_{\min} = n - n_f \geq \sqrt[3]{n_f} .$$

Numărul de impulsuri brut n şi numărul de impulsuri ale fondului n_f se măsoară în intervale de timp identice. Se poate întâmpla ca acestă condiţie să nu se poată asigura, atunci deviaţia standard a vitezei de numărare este corectată cu fondul corespunzător:

$$(sd) = \left(\frac{i_t}{t_t} + \frac{i_f}{t_f}\right)^{\frac{1}{2}}$$

n_f = numărul impulsurilor de fond;
i_f = viteză de numărare de fond;
i_t = viteză de numărare totală.

Se pune întrebarea cum să ne alegem timpii de măsurare ca să măsurăm cu eroare medie?

Diferenţiind ecuaţia anterioară:

$2(sd)\mathrm{d}(sd) = -\frac{i_t}{t_t^2}\mathrm{d}t_t - \frac{i_f}{t_f^2}\mathrm{d}t_f$, condiţia minimă pentru (sd), $\mathrm{d}(sd) = 0$, $t = t_t + t_f$ este constantă, deci $\mathrm{d}t_t + \mathrm{d}t_f = 0$ ca urmare $\frac{t_f}{t_t} = \left(\frac{i_f}{i_t}\right)^{\frac{1}{2}}$. Înainte de măsurare chiar din măsurători aproximative raportul $\left(\frac{i_f}{i_t}\right)^{\frac{1}{2}}$ se poate calcula.

f) Calitatea aparaturii de măsurare

De multe ori împrăştierea la rezultatele măsurătorilor este mai mare decât limitele admise de cele arătate mai sus. În această situaţie, eroarea întâmplătoare a aparaturii de măsurare nu se poate neglija pe lângă eroarea statistică a dezintegrării. Se pune întrebarea dacă diferenţa dintre cele două împrăştieri se poate tolera şi când trebuie să luăm măsuri? În acest sens există mai

multe soluții. Să luăm de exemplu două măsurări realizate în paralel luând ca rezultat n_1 şi n_2 (număr de impulsuri).

Să fie $k = \frac{|n_1 - n_2|}{sd}$, unde $(sd) = \left(\frac{n_1}{t_1} + \frac{n_2}{t_2}\right)^{1/2}$

iar *P* probabilitatea că fluctuația statistică coincide sau este mai mare ca *k(sd)*.

Din tabelul următor putem lua valorile lui *P* pentru câteva valori ale lui *k*. Probabilitatea deviației caracterizată cu *k:*

Tabelul 15

k	1,00	1,2	1,4	1,6	2,00	2,5	3,00	4,2
P	0,159	0,115	0,081	0,055	0,023	0,006	0,001	$3 \cdot 10^{-5}$

Experiența arată că la un aparat de măsură, calitatea acestuia poate fi definită prin criteriul lui Chauvenet. După acest criteriu un set de măsurători este bun dacă: $\frac{|\overline{n} - n|_{\max}}{(sd)} \leq k_{Ch}$.

La această metodă trebuie folosit şi următorul tabel:

Tabelul 16

Criteriul Chauvenet

z	k_{Ch}
3	1,4
5	1,6
7	1,8
9	1,9
11	2,1
200	3

unde *z* este numărul de măsurători paralele.

Capitolul III

Metode de măsurare a concentraţiei radonului şi a descendenţilor săi

Există mai multe metode pentru determinarea concentraţiei de Rn şi a descendenţilor săi în atmosferă. Noi am ales „metoda filtrului" căci am întâlnit mai multe variante ale acestei metode. Toate relativ simple şi reproductibile în condiţiile unui liceu.

Din bibliografia consultată s-a constatat că mulţi au folosit această metodă, timp îndelungat şi cu rezultate bune. Desigur, există mai multe variante ale metodei şi vom enumera câteva, fiecare variantă promiţând determinări atât calitative cât şi cantitative. Metoda se bazează pe ideea că ^{222}Rn face parte din seria radioactivă a uraniului. Dezintegrarea radonului are loc după schema din figura 4 completată de *Tabelul 3*.

Trebuie să amintim că RaC′ este întotdeauna în echilibru radioactiv cu RaC. Astfel RaC se consideră emitor de radiaţie alfa. Deci, în esenţă, trebuie măsurată activitatea α a radonului. La baza metodei stă şi constatarea că radonul şi descendenţii lui se depun de regulă pe firele de praf cu dimensiunile de aproximativ 0,01 μ. S-a găsit că 90% din descendenţii radonului se depun pe aerosoli cu dimensiuni mai mici de 0,5 μ.

Trebuie menţionat şi faptul că timpii de înjumătăţire ai descendenţilor radonului sunt mai mici decât cei ai radonului, de aceea în incinte închise, după 4-5 ore vor ajunge în echilibru radioactiv cu radonul din acea incintă. Din bibliografia consultată reiese că bazele acestei metode au fost puse de TSIVOGLU şi colaboratorii săi în 1953. Variante ale acestei metode am găsit la dr. *Tóth Árpád* în Ungaria, la dr. *Szabó Endre* la Târgu Mureş, dar pe această metodă se bazează şi metoda standard elaborată de Consiliul Naţional al Apelor din România.

În toate variantele se aspiră aer printr-un filtru de bună calitate pe care se reţin aerosolii după care se măsoară activitatea filtrului.

3.1. Metoda TSIVOGLU

A fost elaborată de TSIVOGLU şi colaboratorii săi. Şi celelalte variante au la bază acestă metodă. În cazul măsurătorilor trebuie să urmărim următoarele etape:

1) Se ia o probă de aer prin metoda aspirării aerului printr-un filtru de foarte bună calitate timp de 5 minute.
2) Timp de 35-40 minute măsurăm în mod continuu activitatea alfa a filtrului.
3) Rezultatele de măsurare se reprezintă grafic în funcție de timp şi pe baza graficului se determină concentrațiile descendenților RaA, RaB, RaC.
4) Din concentrația descendenților se determină concentrația de radon.

Condiții impuse:

– filtrul să fie de bună calitate (cu randamentul de filtrare de peste 30%);

– aerosolii să se depună numai pe suprafața filtrului pentru a evita anumite fenomene de difuzie;

– filtrul să permită filtrarea unui debit de cel puțin 25-30 m^3/h de aer.

Analiza rezultatelor se face pe baza curbei de dezintegrare, în baza unor formule rezultate dintr-un sistem de ecuații diferențiale.

Determinarea concentrației de radon are următoarele etape:

1. Se trasează curba de dezintegrare alfa. Mai bine spus, din momentul încetării filtrării, reprezentăm grafic valorile corectate cu randamentul de detectare şi cu randamentul de filtrare.

2. Din curba de dezintegrare citim valorile corespunzătoare minutelor 5, 15, 30. Le notăm cu A_5, A_{15}, A_{30}.

3. Cunoscând valorile A_5, A_{15}, A_{30} putem calcula numărul de atomi de RaA, RaB, RaC existenți pe filtru în momentul încetării filtrării, pe baza relaților:

$$N_{0_{RaA}} = 17{,}3A_5 - 39{,}3A_{15} + 24{,}8A_{30}$$

$$N_{0_{RaB}} = -6{,}9A_5 - 84{,}9A_{15} + 160A_{30}$$

$$N_{0_{RaC}} = -9{,}1A_5 + 110{,}5A_{15} - 83{,}8A_{30}$$

4. Cu ajutorul valorilor lui $N_{0_{RaA}}$, $N_{0_{RaB}}$, $N_{0_{RaC}}$ cunoscând viteza de filtrare (v–litru/min) putem calcula concentrația RaA, RaB, RaC, în aer (în unități atomi/litru):

$$Q_{RaA} = \frac{0{,}335\ N_{0_{RaA}}}{v}$$

$$Q_{RaB} = \frac{0{,}213\ N_{0_{RaB}} - 0{,}407\ Q_{RaA} \cdot v}{v}$$

$$Q_{RaC} = \frac{0{,}213\ N_{0_{RaC}} - (0{,}024\ Q_{RaA} + 0{,}0677\ Q_{RaB}) \cdot v}{v}$$

5. Transformăm concentrațiile obținute în unități uzuale cu ajutorul constantei de dezintegrare căci $A = \lambda \cdot Q$. Ca unitate uzuală se folosește de obicei pCi/litru şi atunci:

$$A^f_{RaA} = 0{,}1020\ Q_{RaA}$$
$$A^f_{RaB} = 0{,}0116\ Q_{RaB}$$
$$A^f_{RaC} = 0{,}0144\ Q_{RaC}$$

6. Din rezultatele obținute putem deduce concentrația de radon cu ajutorul curbei unde se reprezintă:

Q_{RaC}/Q_{RaB} în funcție de A^f_{Rn}/A^f_{RaB}

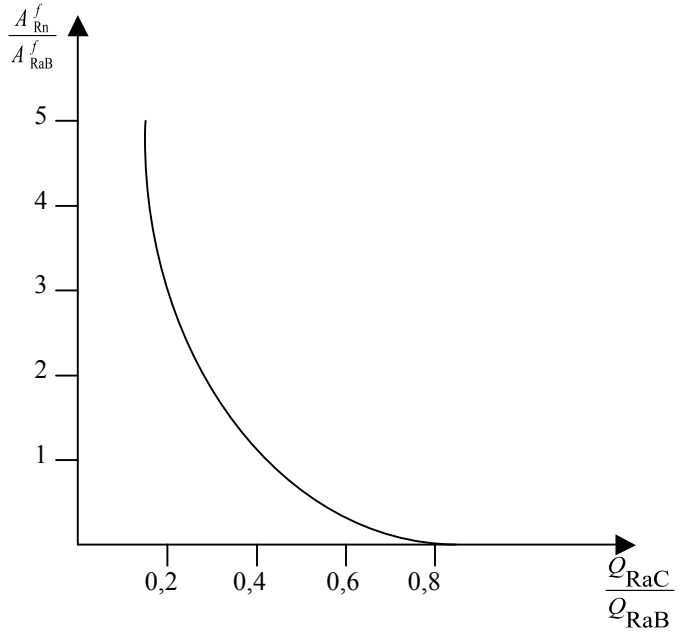


Fig. 16

Deoarece Q_{RaB}, Q_{RaC}, A^f_{RaB}, deja s-au calculat, rezultă: $A^f_{Rn} = \frac{Q_{RaC}}{Q_{RaB}} \cdot A^f_{RaB}$

3.2. Metoda TÓTH ÁRPÁD

Metoda a fost descrisă şi folosită ani îndelungați de profesorul dr. *Tóth Árpád*, de la Universitatea din Budapesta.

Se bazează pe diagrama de timp:

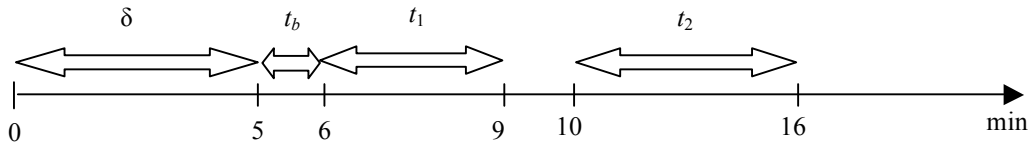


Fig. 17

δ – timp de aspirație (5 minute); t_b – timpul în care filtrul se pune sub detector (1 minut).

După aceasta, timp de nouă minute ridicăm curba de dezintegrare alfa pe baza căreia determinăm n_1 şi n_2 ce reprezintă numărul de impulsuri pe **intervalele** de timp t_1 şi t_2 (a se vede diagrama de timp).

Pe baza acestor rezultate:

$$C_A = A_{RaA} = \frac{0{,}118(n_1 - n_2)}{k}$$

$$C_B = A_{RaB} = \frac{0{,}03 n_2}{k}$$

$$C_C = A_{RaC} = \frac{5{,}97 n_2 - 2{,}44 n_1}{k}$$

Unde $K = V_0 \cdot \eta_F \cdot \eta \cdot k_0$, unde :

V_0 – valoarea volumului de aer filtrat, corectat la starea normală (a se vedea în continuare);

η_F – randamentul de filtrare;

η – randamentul de detectare;

k_0 – fracția de particule alfa transmisă prin filtru.

Erorile statistice relative întâmplătoare vor fi:

$$\delta_{CA} = \pm \frac{(n_1 - n_2)^{\frac{1}{2}}}{n_1 - n_2} \cdot 100\%$$

$$\delta_{CB} = \pm \frac{1}{n_2^{\frac{1}{2}}} 100\%$$

$$\delta_{CC} = \pm \frac{(35{,}64 n_2 + 5{,}95 n_1)^{\frac{1}{2}}}{5{,}97 n_2 - 2{,}44 n_1} \cdot 100\%$$

3.3. Metoda SZABÓ ENDRE

Această metodă a fost folosită zeci de ani de dr. *Szabó Endre* în determinările făcute în Târgu Mureş şi în diferite zone din țară.

În această variantă timpul de filtrare este de 1 oră, pentru că în acest interval de timp apare echilibrul între izotopii dezintegrați şi cei încă nedezintegrați pe filtru. După filtrare, trasăm timp de 40 de minute curba de dezintegrare cu valorile luate minut cu minut. Pe baza curbei de dezintegrare determinăm n_0, adică corecția pentru minutul pierdut cât am aşezat filtrul sub detector.

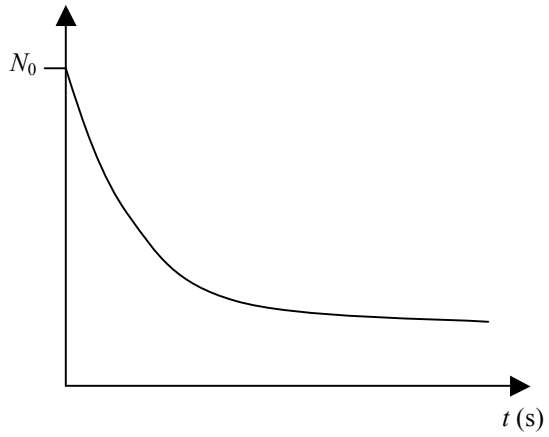


Fig. 18

După acestea folosim relația: $C_{Rn} = 3{,}56 \cdot 10^{-13} \frac{N_0 - F}{K}$, pC/litru, unde:

K = constantă caracteristică dispozitivului de măsurare (în cazul nostru 0,064 Bq/l·imp/min), F este fondul.

3.4. Metoda standard elaborată de Consiliul Naţional al Apelor din România

Această metodă este o metodă standard, elaborată de Consiliul Național al Apelor şi aprobată de Institutul Român de Standardizare, intrată în vigoare în anul 1986. Probele de aer se recoltează cu instalația de recoltare a probelor prin aspirarea unui volum de aer de minimum 25 m^3 în timpul T, la înălțimea de circa 2 m de la nivelul solului. Densitatea de activitate a aerosolilor reținuți pe un filtru se determină prin măsurători beta, la trei momente (3 min, 40 h, 5 zile) de la încetarea aspirării.

Etapele măsurătorii sunt:

1. Se determină factorul de etalonare f_{et}.

Se măsoară fondul ansamblului de măsurare (F_0). Se pune sursa etalon sub detector şi se măsoară numărul de impulsuri (N_{et}) în timpul t_{et} (minimum 50 min). Se calculează viteza de numărare (R_{et}) a sursei etalon, în absența fondului:

$$R_{et} = \frac{N_{et}}{t_{et}} - F_0 \text{ (imp/min)}$$

Factorul de etalonare (f_{et}) se exprimă în imp/min · Bq cu formula:

$$f_{et} = \frac{R_{et}}{\lambda_{et}},$$

unde: R_{et} – este viteza de numărare a sursei etalon în absența fondului, în imp/min;

λ_{et} – activitatea sursei etalon, în Bq.

2. Se măsoară proba după 3 min, 20 h, 5 zile.

La fiecare măsurătoare se determină şi fondul corespunzător (F_1, F_2, F_3), după care se fac măsurătorile probei 10 minute, respectiv câte 50 minute, obținându-se vitezele de numărare după formula:

$$R_1 = \frac{N_1}{t_1} - F_1; \qquad R_2 = \frac{N_2}{t_2} - F_2; \qquad R_3 = \frac{N_3}{t_3} - F_3 \text{ (imp/min).}$$

Viteza de numărare minimă semnificativă a probei se calculează cu un nivel de încredere de 95,4 % cu formula: $R_{min} = \frac{2 + 2\sqrt{1 + 2tF_3}}{t}$ (imp/min.),

unde: t – timpul de măsurare a fondului F_3, exprimat în minute (50 minute);

F_3 – fondul ansamblului de măsurare.

3. Se calculează densitățile de activitate.

Densitatea de activitate a descendenților de viață scurtă ai ^{222}Rn (Λ_R) se exprimă în Bq/m^3 şi se calculează cu relația: $\Lambda_R = a \cdot \frac{R_1 - R_2}{\nu \cdot \eta \cdot f_{et}} \cdot T - b \cdot \frac{R_2 - R_3}{\nu \cdot \eta \cdot f_{et}} \cdot T$.

Densitatea de activitate a descendenților izotopului ^{220}Rn (Λ_T) se exprimă în Bq/m^3 şi se calculează cu relația: $\Lambda_{et} = c \cdot \frac{R_2 - R_3}{\nu \cdot \eta \cdot f_{et}} \cdot T$.

În ambele expresii:

a, b, c – coeficienții numerici cu valorile date în tabelul următor,

R_1, R_2, R_3 – vitezele de numărare ale probei în absența fondului;

V – volumul de aer aspirat, în m^3;

f_{et} – factorul de etalonare, în imp/min · Bq;

η – randamentul de reținere al filtrului;

T – timpul de aspirație a probei, în minute.

Tabelul cu valorile coeficienților a, b, c:

Timp de aspirație, *T* (min)	**Coeficient, min^{-1}**		
	a	***b***	***c***
60	0,84	3,05	1,86
120	0,65	2,37	0,96
180	0,62	2,26	0,66
240	0,61	2,24	0,51
300	0,61	2,24	0,42
360	0,61	2,24	0,36
420	0,61	2,25	0,32
480	0,61	2,25	0,29
540	0,61	2,25	0,26
600	0,61	2,25	0,24

3.5. Metoda detectorului de urme cu corp solid

Metoda detectorului de urme cu corp solid este metoda Laboratorului de Radon al Academiei de Ştiinţă Maghiare de la Universitatea Debreţin-Ungaria.

Metodele de măsurare, în general, rezultă dintr-un şir lung de experienţe ce necesită atât multă muncă intelectuală cât şi investiţie financiară.

Mai multe laboratoare de pe lângă Universităţi sau Academii Ştiinţifice au elaborat metode proprii de măsurare care sunt omologate, acceptate în lumea ştiinţifică şi care pot fi folosite de alţii doar cu acceptul acestora.

În programele descrise în acest tratat s-a folosit metoda dezvoltată de Laboratorul de Radon al Academiei de Ştiinţă Maghiare, de la Universitatea Debreţin-Ungaria sub conducerea doamnei dr. *Hunyadi Ilona* şi a domnului dr. *Csige István*, care s-au implicat personal atât în derularea măsurătorilor cât şi în prelucrarea chimică a detectorilor şi prelucrarea datelor.

Radamonul (aşa se numeşte aparatul de măsurare) este format din două componente: cutia şi elementul sensibil (detectorul propriu-zis).

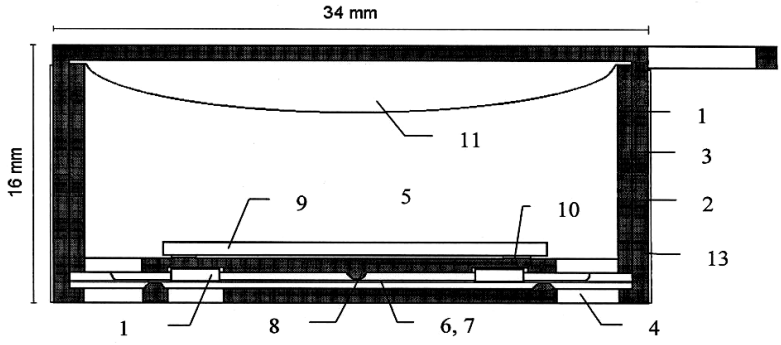


Fig. 20

Cutia (1,2) are rolul de a asigura condiţii constante privind cantitatea şi calitatea aerului ce este în contact cu suprafaţa sensibilă.

Filtrul de hârtie (6,7) asigură ca 98% din concentraţia de radon din exterior să ajungă în contact cu detectorul propriu-zis reţinând firele de praf pe care se aşază de regulă, descendenţii radonului.

Folia de polietilenă (8) opreşte accesul umidităţii din exterior.

Cupola metalică (11) prin efect electrostatic asigură o distribuire uniformă a particulelor pe suprafaţa sensibilă.

Acest sistem asigură deci o serie de condiţii esenţiale:

– volum constant de aer în contact cu detectorul;

– filtrarea aerului, asigurând posibilitate maximă penetrării radonului în incintă;

– hidroizolaţie;

– distribuţie uniformă a particulelor pe suprafaţa sensibilă.

Detectorul (9) folosit este unul elaborat la Bristol, în Anglia, cu numele TASTRAK-CR-39.

Practic, o bucată de detector cu dimensiunile de 1,2 × 1,4 cm^2 este aşezată în cutie conform figurii. După expunere este „developat" (prelucrat chimic) conform unei metode experimentale descrisă anterior. Urmele rezultate se numără cu ajutorul microscopului sau cu un dispozitiv special elaborat în acest scop pentru numărare automatizată (procedura uşurează munca, dar nu micşorează precizia).

Metoda Radamonului a fost calibrată în camera de radon a NRPB, Chilton, Anglia, ca şi parte a unui program internațional de calibrare intercomparată în 1991. Ca rezultat, factorul de calibrare al Radamonului este de 1 urmă/mm^2, 30 zile = 84 ± 6 Bq · m^{-3} activitate pentru radon.

Unul dintre scopurile principale ale programelor de măsurare ce sunt descrise în capitolele următoare a fost calibrarea unei metode de măsurare a concentrației de radon, elaborată în Laboratorul IFIN-HH – Bucureşti – Măgurele, sub conducerea doamnei dr. *Ana Daniş*, lucrare în curs de realizare.

Apendix 2

a) Mărimi fizice, unităţi de măsură

Tabelul 17

Mărimea fizică	**Unitatea în SI**	**Unitatea în alt sistem**	**Relaţii între unităţi**
Activitatea	Bequerel (Bq) 1Bq = 1/S	Curie (Ci)	1Bq = $2,7 \cdot 10^{-11}$ Ci = 27pCi 1Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq = 37GBq
Doza absorbită	Gray (Gy) 1Gy = 1J/kg	Rad (rad)	1Gy = 100 rad 1rad = 0,01Gy = 10mGy
Doza echivalentă	Sievent (Sv) 1Sv = 1J/kg	Rem	1Sv = 100 rem 1 rem = 0,01 Sv = 10 mSv
Expoziția	Coulomb/kg c/kg	Röentgen (R)	1c/kg = 3876 R = 3,876 kR 1R = $2,58 \cdot 10^{-4}$ c/kg

b) Activitatea gazelor naturale emanate din surse de ape minerale din Munţii Rodnei

Aceste date au fost determinate de un grup de fizicieni de la Facultatea de fizică din Cluj, grup din care a făcut parte şi dr. *V. Znamirovschi*:

Tabelul 18

Activitatea gazelor naturale emanate din surse de ape minerale din Munţii Rodnei

Locul recoltării	Data	Activitatea (nCi/l)	Activitatea globală a gazului (nCi/l)	Activitatea apei (nCi/l)
Valea vinului (foraj)	15.09.81	1,81 ± 0,24	4,52	2,75
Valea Arieşului (izvor)	09.81	1,77 ± 0,13	4,42	2,85
Prihodiştea Mărcuşului	14.09.81	0,78 ± 0,27	1,95	< 1,5
Sâng. Băi izvor 2	16.09.81	0,63 ± 0,2	1,57	< 0,75
Sâng. Băi izvor 9	16.09.81	< 0,6	< 1,5	< 0,75
Sâng. Băi izvor 8	17.09.81	< 0,5	< 1,25	< 0,75

c) Radioactivitatea naturală în mofetele cu dioxid de carbon din Covasna.

Tabelul 19

Radioactivitatea naturală în mofete cu CO_2 *din oraşul Covasna*

Denumirea mofetei	Data recoltării	^{222}Rn (kBq/m^3)
Mofeta Bene Maria	29.01.60	10,02
Mofeta Bene Maria	29.06.77	13,69
Mofeta de la Spitalul de boli cardiace	25.07.74	9,62
Mofeta de la Spitalul de boli cardiace	10.04.88	2,32
Mofeta de la Spitalul de boli cardiace	23.10.77	3,08
Mofeta Bordocz Arpad	29.06.77	11,24
Mofeta Uncap	29.06.77	19,53

Datele au fost selectate din datele primite de la dr. *Szabó Endre* din Târgu-Mureş cel care mai mult de 30 de ani a urmărit în mod regulat radioactivitatea mofetelor din Covasna şi judeţele Harghita şi Covasna. Ca dată comparativă în centrul urban din Covasna valoarea medie a activităţii radonului în octombrie 1982 a fost $5{,}43 \cdot 10^{-3}$ kBq/m^3, iar în oraşul Târgu-Mureş media pe perioada 1972-1982 a fost $4{,}37 \cdot 10^{-3}$ kBq/m^3.

Capitolul IV

Programul de realizare pentru „Harta radonului” din localităţile Remetea – judeţul Harghita şi Covasna – judeţul Covasna

În ultimii 20 de ani s-a intensificat activitatea autorităţilor de a conştientiza în rândul populaţiei locul radonului în creşterea factorului de risc privind mortalitatea datorată cancerului gastric şi pulmonar.

În SUA, Anglia, Suedia, Austria, Ungaria există programe ample, chiar cu sprijin guvernamental, pe de o parte pentru obţinerea de date, pe de altă parte pentru conştientizarea în ceea ce priveşte nivelul activităţii radonului în diferite zone geografice.

Au apărut multe tratate şi chiar reglementări, dar toate fac observaţia că încă nu sunt suficiente date de măsurare pentru concluzii foarte convingătoare.

În condiţiile acceptabilităţii ştiinţifice care permite calcule statistice cât mai precise, este nevoie de un număr cât mai mare de determinări.

Cele două programe desfăşurate în intervale de timp diferite şi-au propus a fi programe pilot, pentru realizarea unei metodologii, larg aplicabile, ce permite culegerea de date în condiţii ştiinţifice şi dirijarea acestora către un centru de coordonare unde se poate realiza prelucrarea statistică şi la nivel naţional.

Programele au la bază schema de la pagina 47.

Aceasta conţine scopuri, obiective dar şi factorii locali şi centrali care trebuie să stea la baza programelor.

Autoritatea locală, medicul din localitate, un cadru didactic cu un grup de elevi dar şi coordonatorul ştiinţific sunt elementele de bază pentru ca munca depusă de-a lungul unui an să nu fi fost de prisos.

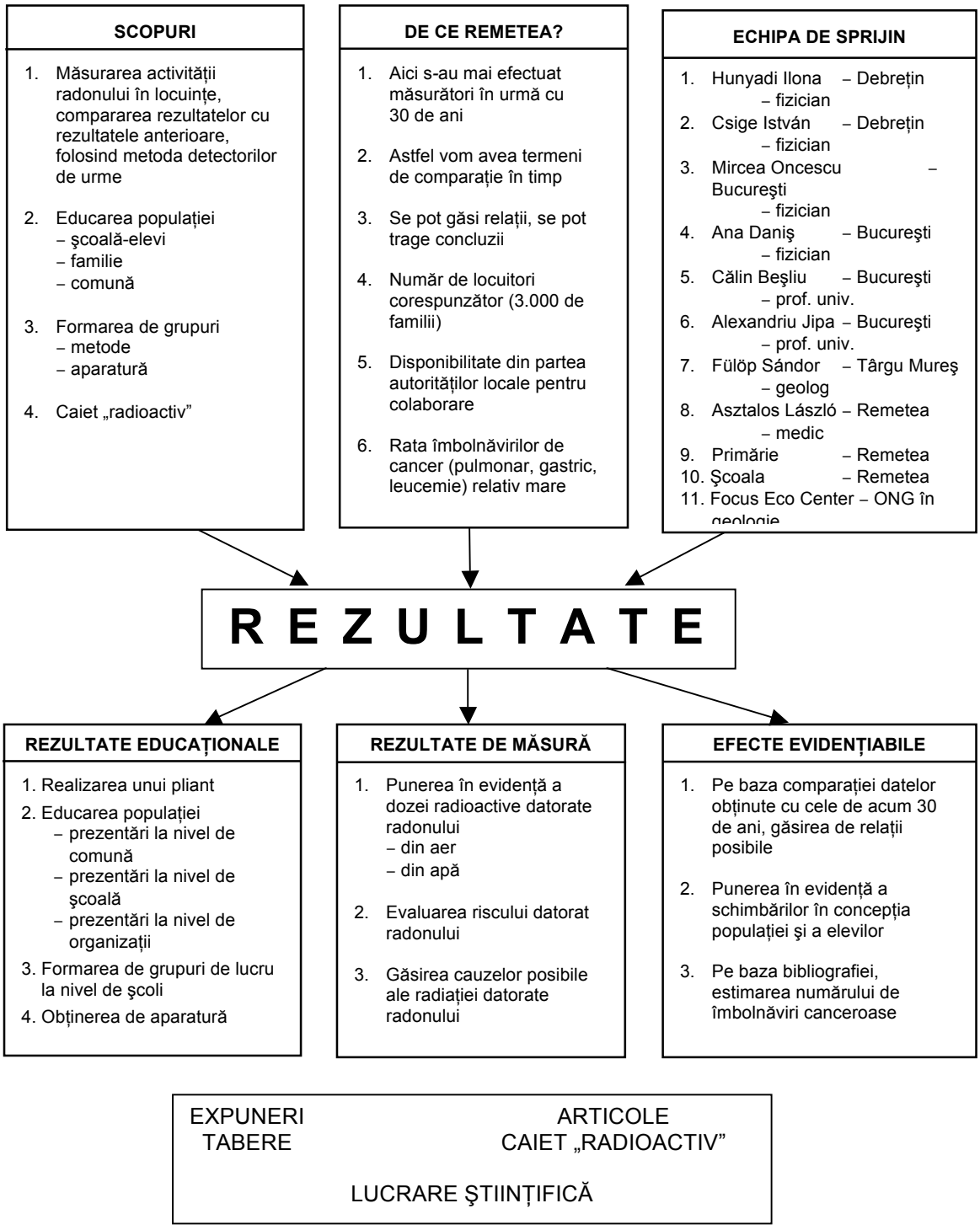

SCOPURI
1. Măsurarea activității radonului în locuințe, compararea rezultatelor cu rezultatele anterioare, folosind metoda detectorilor de urme
2. Educarea populației
– şcoală-elevi
– familie
– comună
3. Formarea de grupuri
– metode
– aparatură
4. Caiet „radioactiv”
DE CE REMETEA?
1. Aici s-au mai efectuat măsurători în urmă cu 30 de ani
2. Astfel vom avea termeni de comparație în timp
3. Se pot găsi relații, se pot trage concluzii
4. Număr de locuitori corespunzător (3.000 de familii)
5. Disponibilitate din partea autorităților locale pentru colaborare
6. Rata îmbolnăvirilor de cancer (pulmonar, gastric, leucemie) relativ mare
ECHIPA DE SPRIJIN
1. Hunyadi Ilona – Debrețin – fizician
2. Csige István – Debrețin – fizician
3. Mircea Oncescu – Bucureşti – fizician
4. Ana Daniş – Bucureşti – fizician
5. Călin Beşliu – Bucureşti – prof. univ.
6. Alexandriu Jipa – Bucureşti – prof. univ.
7. Fülöp Sándor – Târgu Mureş – geolog
8. Asztalos László – Remetea – medic
9. Primărie – Remetea
10. Şcoala – Remetea
11. Focus Eco Center – ONG în geologie
REZULTATE
REZULTATE EDUCAȚIONALE
1. Realizarea unui pliant
2. Educarea populației
– prezentări la nivel de comună
– prezentări la nivel de şcoală
– prezentări la nivel de organizații
3. Formarea de grupuri de lucru la nivel de şcoli
4. Obținerea de aparatură
REZULTATE DE MĂSURĂ
1. Punerea în evidență a dozei radioactive datorate radonului
– din aer
– din apă
2. Evaluarea riscului datorat radonului
3. Găsirea cauzelor posibile ale radiației datorate radonului
EFECTE EVIDENȚIABILE
1. Pe baza comparației datelor obținute cu cele de acum 30 de ani, găsirea de relații posibile
2. Punerea în evidență a schimbărilor în concepția populației şi a elevilor
3. Pe baza bibliografiei, estimarea numărului de îmbolnăviri canceroase
EXPUNERI
TABERE
ARTICOLE
CAIET „RADIOACTIV”
LUCRARE ŞTIINȚIFICĂ

Fig. 19

Schema de lucru (obiective şi parteneri) folosită la cele două măsurători din Remetea – județul Harghita şi Covasna – județul Covasna

Rezultatele aşteptate şi realizările sunt multiple la rândul lor.

Desigur, cele mai importante sunt rezultatele ştiinţifice, dar munca cu elevii, relaţia cu cetăţenii (vizitarea şi ţinerea legăturii cu un număr mare de locuitori) duc la un schimb de informaţii utile pentru ambele părţi.

Munca în sine are mai multe etape:

a) Definirea locaţiei (localitatea).
b) Găsirea partenerilor (autoritatea locală, mediul, şcoala, coordonatorul ştiinţific, alţi factori).
c) Prezentarea programului partenerilor.
d) Formarea grupului de lucru.
e) Pregătirea grupului de lucru.
f) Pregătirea strategiei de lucru (analiza hărţii geografice, identificarea topografică, analiza geologică etc.).
g) Fixarea calendarului de lucru.
h) Desfăşurarea activităţii.

Noi am ales în mod evident localităţi unde datele statistice arată mortalitate mare datorată cancerului gastric şi cancerului pulmonar din zonele cunoscute cu nivele ridicate de activitate radioactivă naturală. Zona curburii Carpatice este o astfel de zonă şi am ales Remetea ca o localitate la „poarta" curburii şi Covasna în „inima" Curburii.

În ambele situaţii am urmărit metoda cu strictețe pentru a nu periclita prelucrarea statistică a datelor.

Condiţia reprezentativităţii deci, se poate asigura doar prin culegerea de date în condiţii statistice şi aplicându-se un model în care proba se formează prin participarea singulară a indivizilor în mulţime.

Acesta este modelul hipergeometric în condiţiile căruia sunt valabile relaţiile:

$$P\left[P_0 - 1{,}96\sqrt{\frac{P_0 q_0}{n}\left(1-\frac{n}{N}\right)} < P < P_0 + 1{,}96\sqrt{\frac{P_0 q_0}{n}\left(1-\frac{n}{N}\right)}\right] = 0{,}95$$

$$P\left[P_0 - 3\sqrt{\frac{P_0 q_0}{n}\left(1-\frac{n}{N}\right)} < P < P_0 + 3\sqrt{\frac{P_0 q_0}{n}\left(1-\frac{n}{N}\right)}\right] = 0{,}997$$

unde $P_0 = \frac{\alpha}{n}$ $q_0 = 1 - P_0$

Problema pentru Remetea s-a formulat în felul următor: dacă numărul caselor din sat este $N = 2406$, numărul de detectori recuperaţi este $n = 115$, numărul de case în care concentraţia de radon depăşeşte 100 Bq/m^3 este $\alpha = 38$ (rezultă din determinări), câte case de acest fel sunt în total în sat ?

Aplicând modelul descris obţinem următoarele rezultate:

$$P\,[\,0{,}201 < P < 0{,}458\,] = 0{,}997$$

adică

$$P\,[\,483 < N_P < 1103\,] = 0{,}497$$

Aceste cifre înseamnă că putem afirma cu o precizie de 3 $^{o}/_{oo,}$ că numărul caselor în care concentrația radonului depăşeşte 100 Bq/m^3 este între 483 şi 1103.

Sau putem afirma cu aceeaşi precizie că numărul caselor în care concentrația depăşeşte 200 Bq/m^3 este între 82 şi 179.

Prin transpunerea datelor de măsură pe harta comunei s-au putut pune în evidență zonele cu activitate mai ridicată, care la rândul lor au coincis cu aşteptările pe care le-am formulat pe baza unor cunoştințe geologice asupra locului, cum ar fi crăpătura tectonică în lungul căreia se află izvoarele de apă minerală.

Un element important îl reprezintă chestionarul pe care-l completează elevul în casa unde se depune un detector.

Capacitatea de comunicare a tânărului, conținutul chestionarului sunt elemente determinante în reuşita acțiunii.

Pe de o parte acceptabilitatea din partea localnicilor (nu toți doresc colaborare), pe de altă parte informația obținută, sunt elementele cheie ale experienței.

Adresele rezultă printr-o extragere statistică.

Astfel, dacă nu sunt acceptați detectorii la aceste adrese se poate afecta aspectul statistic al metodei, iar pe de altă parte autenticitatea datelor este hotărâtoare la formularea concluziilor.

Experiența arată că pregătirea prealabilă bună a elevilor (să cunoască programul, să aibă câteva cunoştințe ştiințifice despre radon, să cunoască statistici şi să comunice deschis) dau un randament foarte bun, atât la acceptabilitatea cât şi la păstrarea detectorilor.

Televiziunea şi presa locală au ajutat mult, prin interviuri şi reportaje, răspândirea programului, astfel comportamentul pozitiv al cetățenilor a fost evident în timpul desfăşurării acțiunilor.

Din descrierea istorică a evenimentelor concluzionăm următoarele sarcini şi metode de lucru:

Profesorul:	– formează grupul de elevi: selectează, pregăteşte, stimulează; – formează grupul de lucru: grupa de elevi, autoritatea locală, oameni de ştiință, medic (eventual centru medical), geolog, mass-media, centru ştiințific (Universitate etc.); – coordonează activitatea, urmăreşte calendarul activității.
Oamenii de ştiință:	– geologul: face descrierea geologică a zonei, evidențierea particularităților; – medicul: asigură statistici, aplicații, tratamente, cuvă de apă, mofete.
Centrul ştiințific:	– asigură metode de măsurare; – asigură preluarea ştiințifică a datelor.
Mass-media:	– informează populația; – asigură transparență.
Autoritatea locală:	– informează populația; – asigură cadrul legal al activității în localitate; – eventual finanțator.
Grupul de elevi:	– pregăteşte „terenul”; – se asigură că detectorul este acceptat de locatari; – informează locatarii, – aşază detectorul; – completează chestionarul; – verifică dacă se păstrează detectorul la locul aşezat; – recuperează detectorul.

Apendix 3

a) Mortalitatea prin cancer gastric în județul Harghita – 1977 (raportată la 1000 de locuitori)

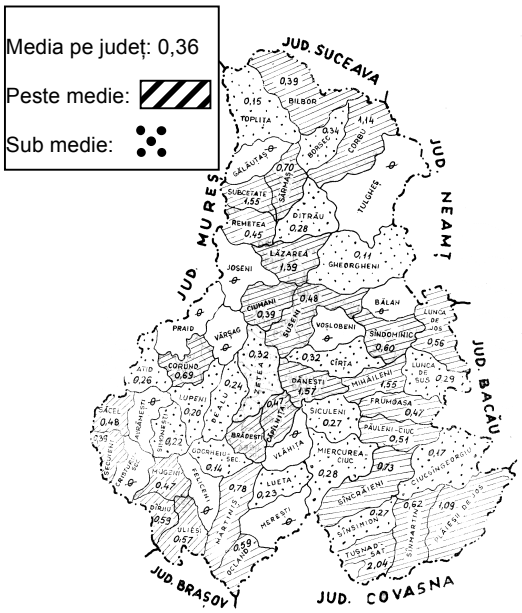


Fig. 20

b) Mortalitatea prin cancer gastric în județul Harghita – 1982 (raportată la 1000 de locuitori)

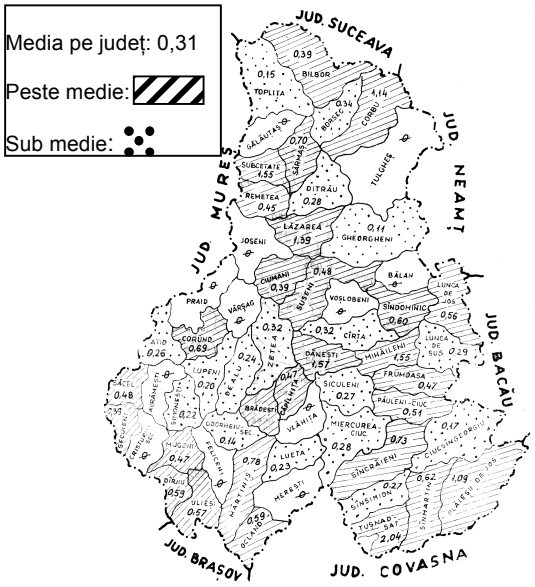


Fig. 21.

c) Tabel comparativ între mortalitatea datorată cancerului gastric în județele României (raportată la 1000 de locuitori)

Tabelul 20

Covasna	52,0	Botoşani	27,0	Iaşi	21,1
Harghita	46,6	Sălaj	25,5	Maramureş	20,9
Arad	44,0	Neamț	25,0	Buzău	20,5
Bihor	37,8	Vâlcea	25,0	Bacău	20,4
Mureş	35,0	Brăila	25,0	Mehedinți	20,3
Cluj	34,5	Dâmbovița	24,9	Gorj	20,0
Timiş	34,5	Prahova	24,5	Tulcea	20,0
Alba	32,0	Hunedoara	24,0	Dolj	20,0
Suceava	32,0	Olt	23,6	Constanța	19,0
Satu Mare	30,1	Bucureşti	23,5	Vrancea	18,7
Sibiu	30,1	Bistrița	23,0	Vaslui	18,0
Teleorman	30,1	Ilfov	23,0	Galați	17,0
Braşov	29,0	Caraş-Severin	21,5	Ialomița	17,0
Argeş	27,4				

Capitolul V

Lucrări de laborator propuse pentru orele de fizică

1. Realizarea unei surse radioactive.
2. Determinarea activității unei surse necunoscute.
   Determinarea factorului de detecție al detectorului.
3. Studiul legii dezintegrării radioactive.
   Determinarea timpului de înjumătățire.
4. Determinarea concentrației de radon din aerul din laborator.

5.1. Generalităţi

Studiul fenomenelor atomice şi nucleare în liceu este dificil în primul rând datorită lipsurilor (detector ş.a.) şi în al doilea rând datorită lipsei surselor radioactive.

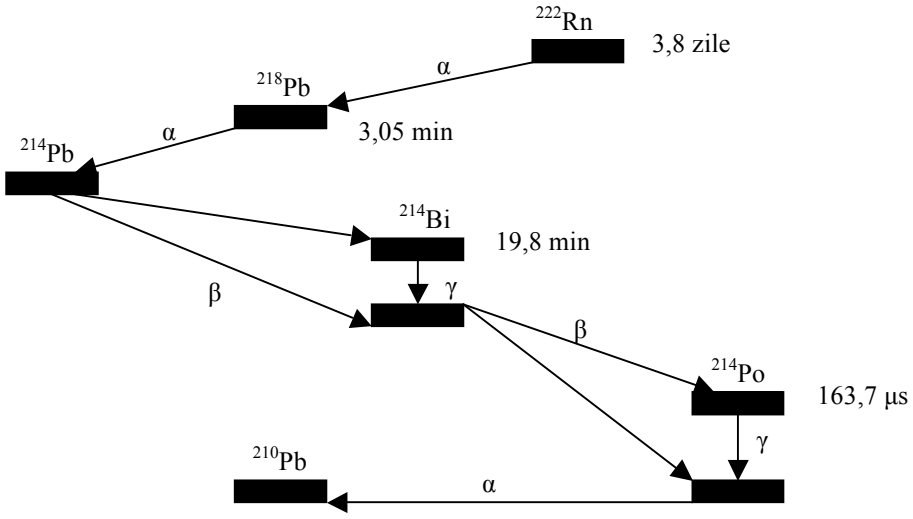
Experiențele propuse au în vedere această situație şi pentru aceasta se foloseşte ca detector, detectorul Geiger-Müller care se află în dotarea majorității laboratoarelor de fizică din licee, iar ca sursă radioactivă, radioactivitatea atmosferei.

Radioactivitatea atmosferei provine din:

- Cosmos.
- Sol.
- Materiale de construcții.
- Activitatea naturală a aerului.

Omul trăieşte cu această radioactivitate de fond de când lumea, cu toate efectele negative sau pozitive pe care le poate avea.

Din acest punct de vedere joacă un rol important ^{220}Rn şi ^{222}Rn care rezultă din seriile radioactive ale ^{232}Th şi ^{238}U şi care la rândul lor se dezintegrează mai departe prin emiterea de radiaţii alfa, beta şi gama, după schema:



În vederea înţelegerii experienţelor propuse, trebuie să cunoaştem câteva proprietăţi ale radonului:

- este gaz inert, deci nu intră în combinaţii chimice cu alţi atomi;
- are moleculă monoatomică;
- are valenţa zero;
- timp de înjumătăţire 3,8 zile;
- se depune pe aerosoli cu dimensiunile de ordinul 0,5 μm, astfel putându-se reţine pe filtre;
- se dizolvă în apă şi în solvenţi organici (sânge, grăsime).

Prin inhalare radonul ajunge în plămâni de unde împreună cu sângele ajunge în toate organele corpului, reprezentând astfel o sursă radioactivă importantă din punct de vedere al dozei radioactive acumulată de om în cursul unui an.

Studiul concentraţiei de radon din aerul încăperilor şi aerul liber a devenit un subiect de studiu în întreaga lume, promiţând totodată realizarea unor experienţe care vin să completeze cunoştinţele prevăzute de programa şcolară şi regăsite în manual. Trebuie menţionat de la bun început că datele numerice care se vor obţine au un caracter relativ şi nicidecum, absolut.

5.2. Realizarea unei surse radioactive

Lucrarea are ca scop punerea în evidenţă a radioactivităţii atmosferice folosindu-se de proprietatea descendenţilor radonului de a se depune pe aerosoli.

a) Ustensilele necesare:
- tifon (10x10 cm);
- filtru de hârtie (din laboratorul de chimie);
- aspirator;
- suport filtru;
- detector G-M;
- cronometru.

b) Mersul lucrării:
- se măsoară radiaţia de fond F = ...imp/min;
- se aspiră prin tifon aer timp de 15-30 min;
- se înfăşoară tifonul cu partea prăfuită spre tub, în jurul tubului G-M;
- se măsoară G = ...imp/min;
- se repetă experienţa cu filtrul de hârtie.

c) Analiza rezultatelor:
- se va observa că Q este mai mare decât F;
- asta se datorează prafului de pe tifon (filtru);
- din studiul proprietăţilor radonului, pe tifon (filtru) este radon;
- se va observa că inegalitatea $Q > F$ este mai evidentă în cazul filtrului, randamentul de filtrare fiind mai mare.

5.3. Determinarea activităţii unei surse necunoscute. Determinarea factorului de detecţie al detectorului

Lucrarea îşi propune studiul a două mărimi fizice care caracterizează pe de o parte sursa radioactivă, pe de altă parte detectorul.

În mod normal aceste determinări presupun existenţa unei surse etalon, ca de exemplu stronţiu –90+ytriu–90 pentru radiaţia beta, cu activitatea cunoscută. În lipsa unui astfel de etalon ne propunem realizarea unei surse tot cu ajutorul radonului din atmosferă. Determinând activitatea filtrului pe care am reţinut aerosolii cu descendenţii radonului, vom avea o valoare „etalon” pe care o vom folosi în calculul factorului de detecţie.

a) Ustensilele necesare:
- Filtru de hârtie.
- Suport filtru.
- Aspirator.
- Cronometru.
- Balanţă de precizie.

b) Mersul lucrării:
- Se introduce filtrul în suport după ce am determinat masa m_1 a filtrului înaintea aspirării.
- Se aspiră timp de 30 min.
- Se măsoară masa m_2 a filtrului după aspirație.
- Se determină $m_2 - m_1$, ceea ce reprezintă masa radonului reținut pe filtru.
- Se determină numărul de atomi de radon de pe filtru. Se dau:
  $N_A = 6{,}02 \cdot 10\text{exp}26$ molec/kmol, $A = 222$
  Astfel $N = \frac{N_A}{A}(m_2 - m_1)$
- Din studiul schemei de dezintegrare ajungem la concluzia că ^{222}Rn emite trei radiații alfa şi două beta $n = 5$.
- Cunoscând timpul de înjumătățire $T_{1/2} = 3{,}8$ zile, constanta de dezintegrare este: $\lambda = 2{,}1 \times 10\text{exp}(-6)$ l/s.
- Cunoscând aceste date, activitatea se calculează după relația:
  $A = N \cdot n \cdot \lambda$ (Bq).
- Se determină viteza de numărare netă $R = Q - F$ imp/min, unde Q este viteza de numărare raportată la un minut, F este fondul.
- Se calculează factorul de detecție după relația: $f = R/A$ (imp/min Bq).

c) Analiza rezultatelor:
- Masa descendenților radonului obținută pe filtru este mai mică decât $m_2 - m_1$.
- Valorile obținute pentru activitate şi factor de detecție au caracter orientativ căci nu s-a luat în considerare o serie de factori, a căror discuție depăşeşte limitele manualului.
- Relațiile folosite şi metodele sunt autentice şi erorile sunt relativ mari datorită deficienților sistemului de detecție şi de măsură.

5.4. Studiul legii dezintegrării radioactive. Determinarea timpului de înjumătățire

Legea dezintegrării radioactive ne arată câți atomi dintr-o substanță emițătoare de radiații, ce conține inițial un număr de N_0 atomi mai există după timpul t:

$N = N_0 \cdot e \exp(-rt)$, unde am notat cu r constanta de dezintegrare.

Se vede că relația rămâne valabilă şi dacă N respectiv N_0 reprezintă viteze de numărare; să le numim intensități de particule I respectiv I_0:

$$I = I_0 \cdot \exp(-rt),$$

de unde prin logaritmare

$$\ln I = \ln I_0 - (8{,}301/T_{1/2}) \cdot t.$$

a) Ustensilele necesare:
- Filtru.
- Suport filtru.

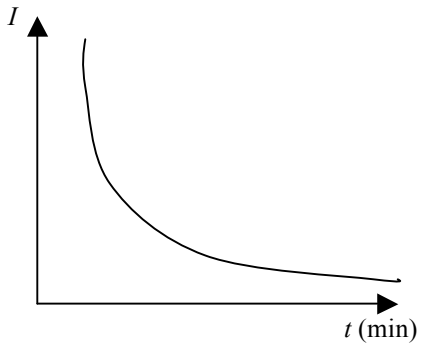
- Aspirator.
- Cronometru.
- Hârtie milimetrică.
- Calculator cu logaritm.

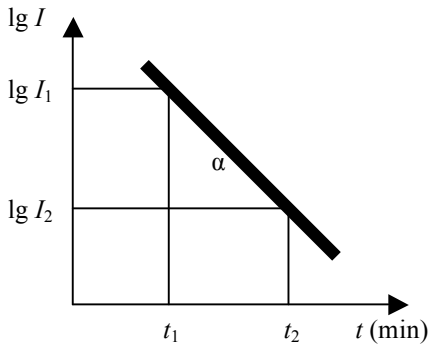
b) Mersul lucrării:

- Se aspiră aer prin filtru timp de 30 min.
- Se măsoară numărul de impulsuri/ min completând tabelul:

Nr.	*I*	lg*I*	Nr.	*I*	lg*I*	Nr.	*I*	lg*I*	Nr.	*I*	lg*I*
1. 10.			11. 20.			21. 30.			31. 40.		

- Se reprezintă grafic $I = f(t)$ şi $\lg I = f(t)$





- Pe baza celui de al doilea grafic:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\lg I_1 - \lg I_2}{t_1 - t_2} = \frac{0{,}301}{T_{1/2}}$$

c) Analiza rezultatelor:

- Din primul grafic se observă dependența exponențială a numărului de dezintegrări funcție de timp.
- Din măsurătorile făcute rezultatul este diferit de cel scontat datorită erorilor de măsură şi datorită neglijării unor termeni, avându-se în vedere condițiile de laborator.

5.5. Determinarea concentraţiei de radon din aerul din laborator

Una din cauzele existenței radonului în atmosferă este și concentrația de materiale radioactive din materialele de construcții, cum ar fi ^{236}Ra, ^{232}Th și ^{40}K.

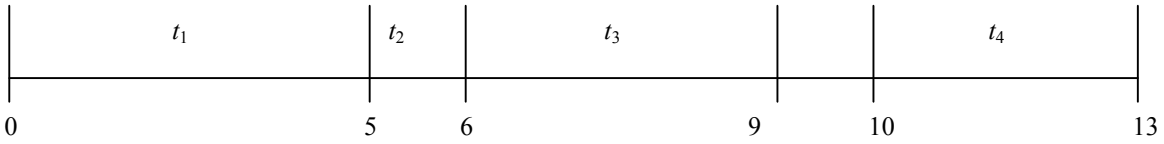
Pentru exemplificare iată câteva date legate de materialele de construcții folosite în țara noastră:

Materialul de construcţie	**Conţinut de ^{226}Ra (Bq/kg)**	**Conţinut de ^{232}Th (Bq/kg)**	**Conţinut de ^{40}K (Bq/kg)**
Cărămidă	35,89	31,82	485,81
Mortar	5,92	5,92	427,72
BCA	16,65	15,64	16,17
Prefabricate din beton	27,75	19,98	201,28

În concluzie, studiul radonului din spații închise prezintă importanță din punct de vedere al dozei radioactive acumulate într-un an de zile. Trebuie scos în evidență faptul că din studiul schemei de dezintegrare rezultă importanța descendenților radonului.

a) Ustensilele necesare:
- Filtru.
- Aspirator.
- Detector.
- Suport filtru.
- Cronometru .

b) Mersul lucrării:
- Se va urmări următoarea diagramă temporală:



t_1– timp de aspirație (5 min);
t_2– timp în care filtrul se aşază sub detector (1min);
t_3, t_4– timp de măsurare (3 min).

- Se determină n_1 şi n_2 reprezentând numărul de impulsuri pe intervalele de timp t_3 şi t_4
- Se determină concentrația descendenților:

$$Ca = \frac{0{,}118 \cdot (n_1 - n_2)}{K}, \text{ pCi/l}$$

$$Cb = \frac{0{,}03\, n_2}{K}, \text{ pCi/l}$$

$$Cc = \frac{5{,}97\, n_2 - 2{,}44\, n_1}{K}, \text{ pCi/l}$$

$$K = V_0 \cdot \eta_f \cdot \eta \cdot k_0$$

unde:
- V_0 – volumul de aer filtrat;
- η_f – randamentul de filtrare;
- η – randamentul de detecție;
- k_0 – fracție de transmisie a radiației prin filtru.

c) Analiza rezultatelor:
- Rezultatele numerice nu au valoare absolută din mai multe cauze:
  - Randamentele ce intră în calcule sunt mici.
  - Metoda este propusă în bibliografie pentru detecție de radiație alfa, dar experiența arată că metoda funcționează şi în cazul detectării radiației beta.
- Rezultatele pot avea valoarea de referință în cazul în care se fac măsurători în acelaşi condiții atmosferice (presiune atmosferică, umiditate, temperatură).

- Se poate face calculul erorilor după relațiile:

$$E_{ca} = \pm \frac{(n_1 - n_2)^{\frac{1}{2}}}{n_1 - n_2} \cdot 100\,\%$$

$$E_{cb} = \pm \frac{1}{(n_2)^{\frac{1}{2}}} \cdot 100\,\%$$

$$E_{cc} = \pm \frac{(35{,}64 \cdot n_2 + 5{,}95 \cdot n_1)^{\frac{1}{2}}}{5{,}97 \cdot n_2 - 2{,}44 \cdot n_1} \cdot 100\,\%$$

Apendix 4

a) Determinarea randamentului de filtrare al filtrului

S-a menționat la descrierea metodelor că filtrul folosit trebuie să fie de foarte bună calitate; pe de altă parte suntem nevoiți să folosim mai multe tipuri de filtre, deci determinarea randamentului de filtrare este importantă.

Avem nevoie de o sursă radioactivă etalon. De obicei se folosește ^{241}Am pentru că energia ei este cea mai apropiată de radon. Luăm două filtre cântărite având mase identice şi suprapunându-le filtrăm aer cu ele timp de 5 minute. După aceea măsurăm vitezele de numărare ale acestora, obținându-se M_1 şi M_2 în imp/min. Cele două determinări trebuie făcute simultan, dar în lipsă de detectori se pot face şi pe rând corectând, însă, valorile prin extrapolare.

Astfel, pe baza relației de mai jos putem determina randamentul de filtrare:

$\eta_F = 1 - \frac{M_2 - \eta_{21}}{M_1 - \eta_{22}}$, unde η_{21}, η_{22} reprezintă randamentul de măsurare a celor doi detectori de particule alfa.

Această determinare este aproximativă pentru că randamentele de filtrare depind şi de particularitățile filtrului şi de viteza de aspirație, dar valorile astfel găsite sunt suficient de bune pentru măsurătorile noastre.

b) Determinarea coeficientului de autoabsorbţie, k_o

De regulă, în urma filtrării, atomii RaA, RaB şi RaC se depun pe suprafața filtrului la adâncimi nu prea mari. Totuşi, datorită absorbției de particule alfa o parte din particule nu pot părăsi filtrul. Fracția k_0 de particule alfa transmise prin filtru se poate scrie în felul următor:

k_0 = activitatea alfa observată / activitatea alfa reală din filtru = $2M_1 / 2M + M_3 - M_2$;

unde: M_1, M_2, M_3 sunt vitezele de numărare definite mai sus.

Şi aici folosim două filtre de mase identice. Prin unul din filtre aspirăm aer dintr-o încăpere închisă, deci cu radon, celălalt filtru este folosit ca absorbant fără a fi exponat. După acestea vom face trei determinări în trei etape:

1. *normal*: ridicăm curba de dezintegrare a filtrului exponat cu partea prăfuită spre detector. Făcând corecțiile pentru timpul mort şi fond determinăm M_1 (imp/min);
2. *acoperit*: lăsăm filtrul anterior nemişcat şi-l acoperim cu filtrul neexponat, după care procedăm ca în cazul anterior determinând M_2 (imp/min);
3. *invers*: inversăm poziția filtrului exponat, față de detector şi procedând ca în cele două situații anterioare determinăm M_3 (imp/min).

c) Corecţia volumului de aer filtrat (V_o)

La metodele enumerate în timpul aspirației pe filtru apare o scădere de presiune ΔP ce se poate măsura cu manometrul de mercur. Luând în considerare în continuare temperatura aerului t, presiunea atmosferică p, presiunea de saturație a aburilor P_D, numărul de saturație ξ, volumul de aer citit de pe contor se calculează după relația: $V_0 = V \cdot \frac{273(P - \Delta P - \xi P_D)}{(273 + t) \cdot 760}$.

Această corecție se face de obicei pe bază de tabele. Noi, în experiențele noastre, am neglijat aceste corecții.

d) Determinarea randamentului de măsură (η_α)

Avem nevoie de o sursă de radiație standard. După cum am mai arătat în acest scop ^{241}Am este cel mai indicat. Randamentul se determină pe baza relației:

η_α = viteza de numărare medie/viteza de numărare teoretică (activitate).

e) Etalonarea sistemului de măsurare

În acest scop avem nevoie iarăşi de sursă etalon cu activitatea cunoscută atât pentru radiația alfa (^{241}Am) cât şi pentru radiația beta (stronțiu – 90 + ytriu – 90). Se determină fondul sistemului de măsurare a instalației prin măsurarea vitezei de numărare a fondului F măsurată în impulsuri/minut. Pentru determinarea vitezei de numărare N (imp/min) cu sursa etalon, etalonul s-a plasat într-o poziție care să asigure o geometrie reproductibilă şi să fie cât mai apropiată de volumul activ al tubului G-M în cazul radiației beta.

Viteza de numărare netă, datorită sursei este: $R = N - F$ (imp/min).

Determinarea factorului de detecție se face după relația: $f = \frac{R}{A_o}$ (imp/minBq), unde A_0 este activitatea sursei etalon.

Pentru sistemul nostru am obținut următoarele valori pentru factorul de detecție:

- pentru radiația beta: $f_\beta = 9{,}7$ imp/min Bq;
- pentru radiția gama: $f_\gamma = 2{,}3$ imp/min Bq.

Randamentul de detecție s-a determinat cu relația: $\eta = \frac{R}{A_o}$, R în imp/s, A_o în Bq.

Pentru instalația noastră: $\eta_\beta = 0{,}17$ (17%);

$\eta_\gamma = 0{,}027$ (2,7%).

f) Materiale, ustensile necesare măsurătorilor

- Filtre (de bună calitate la care să se potrivească dimensiunile cu dimensiunile părții sensibile a detectorului).
- Contor cenalic.
- Soclu pentru fixarea filtrului (din metal).
- Inel din cauciuc pentru ermetizarea filtrului în soclu.
- Tuburi din cauciuc.
- Debitmetru pentru aer.

- Aspirator.
- Pensetă.
- Barometru.
- Detector alfa şi beta.
- Sursă alfa şi beta standard.
- Silicon.
- Calculator.

Bibliografie

- **A. Poicăjan**, *Apele minerale şi termale din România*, Editura Tehnică. Bucureşti, 1972.
- **Á. Szabó**, *Ape şi gaze radioactive în R.S.R.,* Editura Dacia, 1978.
- **C.C. Complin**, *Monitoring Alpha Backround Radiation Energy and Risk*, Veszprém, 1989.
- **Csongor Éva**, *Radioaktivitás a Természetben Fizikai szemle*, 1985/1.
- **Czejzler Endre**, *A csernobili atomerőmű baleset teratologiai értékelése Magyarországon,* Orvosi Hetilap, 1988/9.
- **Czelzel Endre**, *Az ionizáló sugárzás teratogén és mutagén kutatása*, Orvosi Hetilap, 1988/37.
- **Eszter Tóth**, *Radon Monitoring in of Schools Energy and Risk*, Veszprém, 1989.
- **Fehér István**, *A sugárvédelem újabb eredményei*, Akadémia kiadó, Budapest, 1983.
- **Marx György**, *Beszélgetés marslakókkal*, OOK-PRESS, Veszprém, 1992.
- **Jasim U. Achmed**, *Radon in the Human Environment Energy and Risk*, Veszprém, 1989.
- **Koch Ferenc**, *Atomfizikai alapismeretek*, Editura Dacia, Cluj, 1980.
- **Lennart Samuelson**, *Radon Indors Energy and Risk*, Veszprém, 1989.
- **M. N. Filipescu, I. Hună**, *Geochimia gazelor naturale*, Editura Academiei, Bucureşti, 1979.
- **Nagy Lajos György**, Radiokémia és izotóptechnika, Tankönyvkiadó, Budapest, 1989.
- **Ormai Péter**, *Sugárvédelmi adataink nemzetközi összehasonlításban,* atomerőmű, 1990.
- **Szabó Endre**, *Contaminarea mediului ambiant cu radionuclizi naturali, prin folosirea unor îngrăşăminte chimice*, Igiena, 1981/2.
- **Szabó Endre**, *Újabb fizika-kémia vizsgálatok a torjai Büdösbarlangban*, Aluta, 1988.
- **Szabó Endre**, *Kovászna szén-dioxid tartalmú „gőzlőinek" természetes radioaktivitása*, Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam, 1990.
- **Szabó Endre**, *Determinarea conţinutului de radon al surselor naturale (mofetelor) cu caracter balneoterapeutic.*
- **Tóth Árpád**, *A lakosság természetes sugárterhelése*, Akadémia kiadó, Budapest, 1983.
- **Tóth Árpád, Fehér István**, *Építőanyagok radon-kiáramlásának vizsgálata*, Építőanyag, 1976/4.
- **Tsivoglu E**. **G**, *Nucleonics*, 1953.
- **Vastag György**, *Radon figyelő mérések a balatonfüredi Lóczi Lajos gimnáziumban,* Fizikai szemle, 1990/4.
- **Virág E.**, *Sugárvédelem, dozimetria*, Budapest, 1987.
- **Znamirovschi**, *Studiul radioactivităţii gazelor naturale emanate din surse de ape minerale din Munţii Rodnei*. Studii şi cercetări de fizică, 1982/10.
- **Znamirovschi**, *Cercetări asupra radioactivităţii gazelor naturale din valea Cernei*. Studii şi cercetări de fizică, extras, 1981.
- **X-xx**, *Sugárvédelmi mérési módszerek* Az atomtechnikai tájékoztató melléklete Budapest, 1964.
- **X**, *Aer-determinarea densităţii de activitate a aerosolului* – STAS1 2457/86.

- **X**, *Metoda determinării radioactivităţii naturale a aerosolilor cu ajutorul măsurătorilor eliberate de Consiliul Naţional al Apelor – Institutul de Meteorologie şi Hidrologie.*
- **X**, *Norme republicane de radioprotecţie – emisă de Consiliul de Stat pentru Energia Nucleară,* Ministerul Sănătății – Consiliul Național al apelor – 1976.
- **Gh. Zamfir,** *Poluarea mediului ambiant*, Editura Junimea, 1974.

Anexe

Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság
Societatea Maghiară Technico-Științifică din Transilvania
Hungarian Technical Scientices Society of Transylvania
Marosvásárhely
ROMANIA,4300-TG.MURES,str.Cornesti,nr.68/A
Tel/fax:40-65-216 194

PROCES VERBAL DE MĂSURARE

Număr crt..... Nr. Identificare detector.....

Data asezării..... Data colectării.....

Adresa :Localitatea.....,str.....,nr.....

Locatari :	Numele si prenumele	Vârsta	De când trăiesc în casă
- tata	.....	.....	.....
- mama	.....	.....	.....
- bunicul	.....	.....	.....
- bunica	.....	.....	.....
-Copil	.....	.....	.....
..	.....	.....	.....
	.....	.....	.....
-altcineva	.....	.....	.....

Cine doarme în încăperea unde a fost asezat detectorul..... .....

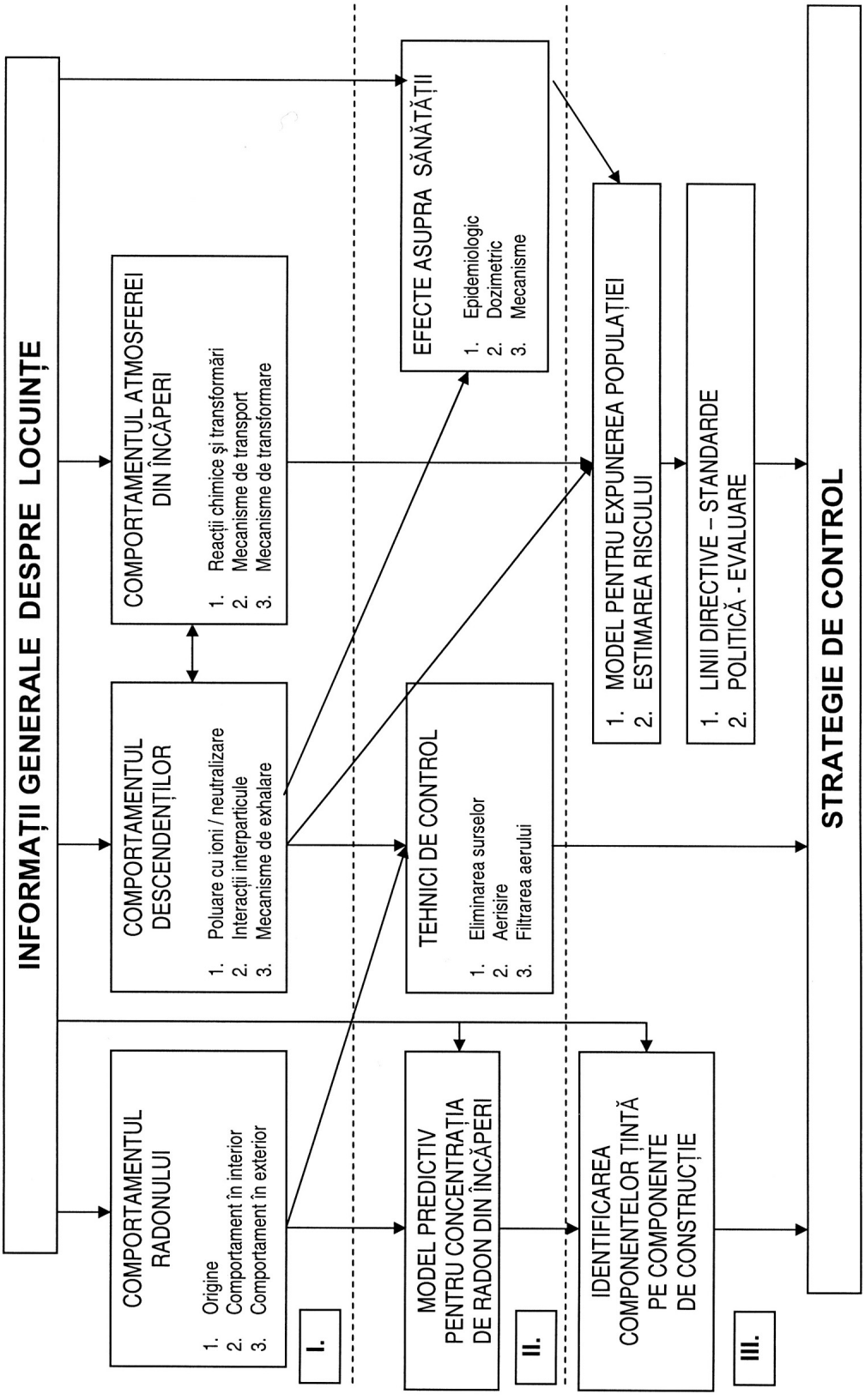
Dacă cineva din familie a avut sau are cancer (ce fel ?.).....

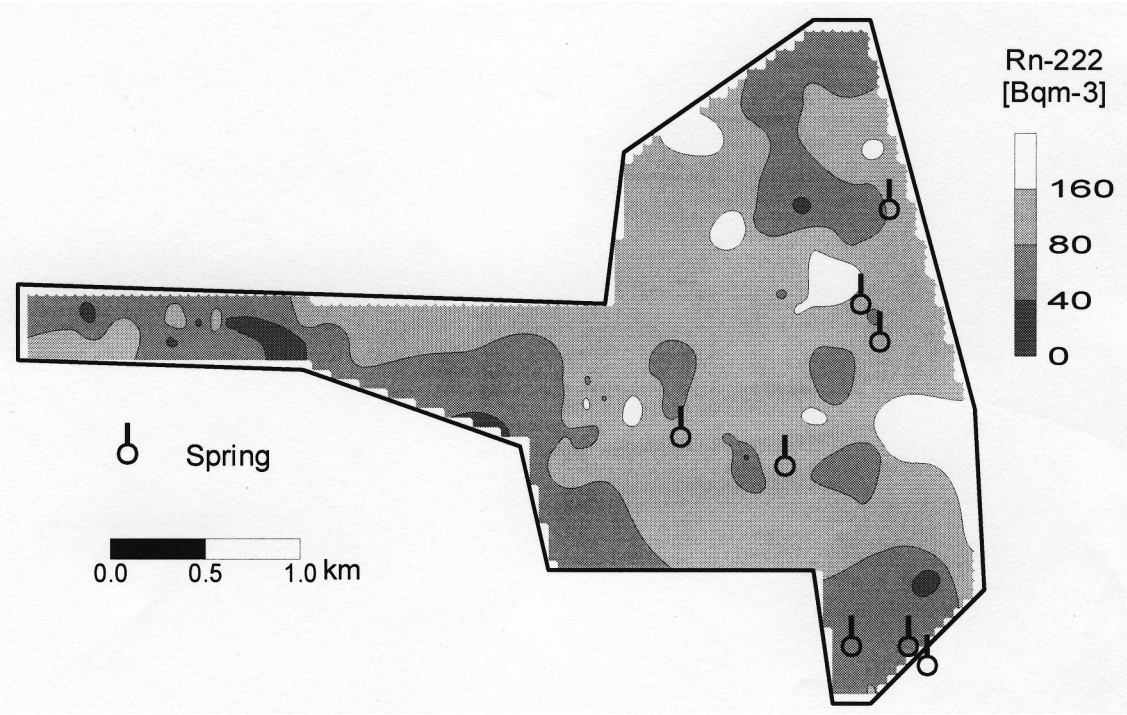
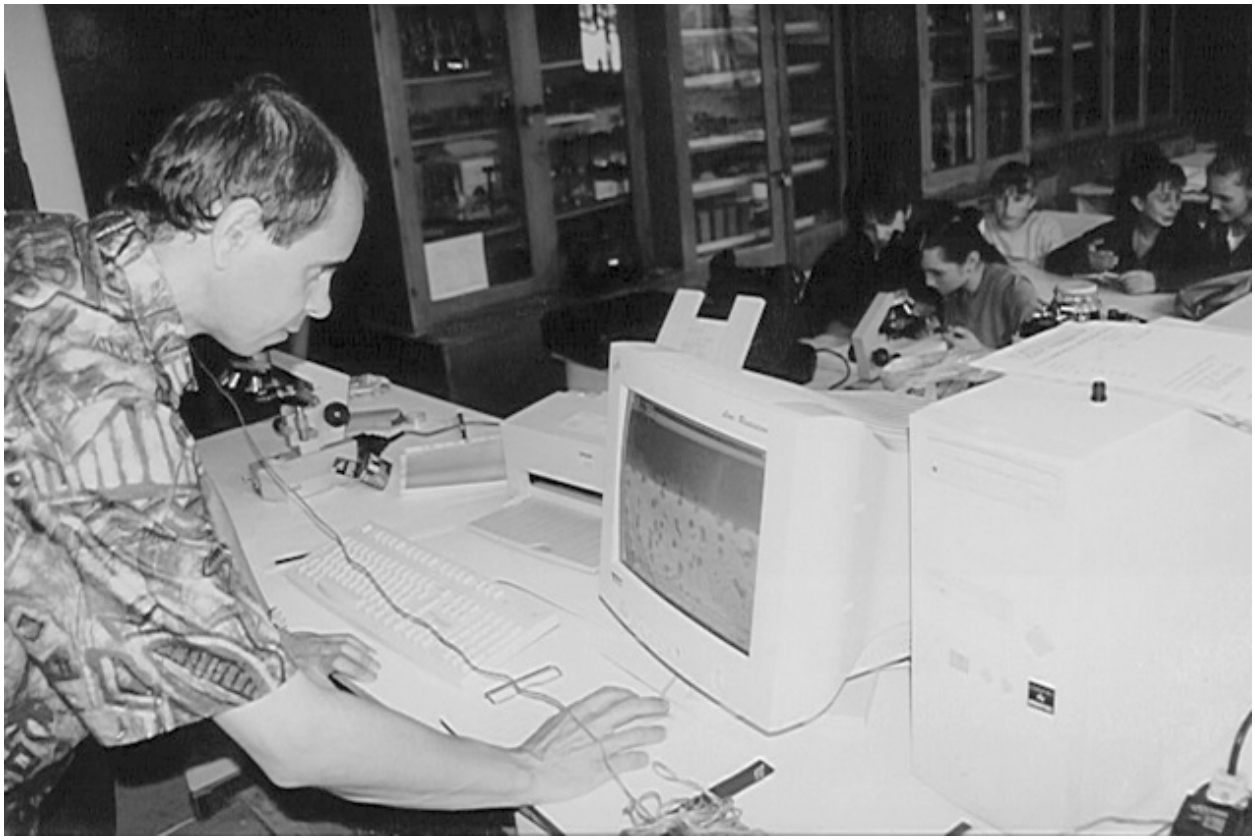
Despre casă:din ce este construită :cărămidă.....,beton.....,lemn.....altceva.....
podeaua :pământ.....,beton.....,lemn.....,altceva.....
În ce an a fost construită .....
Cât de des se aeriseste în încăpere .....
Cum este aerisirea naturală a încăperii .....

Observatii : C_{radon}=..... Bq/m3

Cine a asezat detectorul .....

.


INFORMAȚII GENERALE DESPRE LOCUINȚE
COMPORTAMENTUL RADONULUI
1. Origine
2. Comportament în interior
3. Comportament în exterior
COMPORTAMENTUL ATMOSFEREI DIN ÎNCĂPERI
1. Reacții chimice și transformări
2. Mecanisme de transport
3. Mecanisme de transformare
COMPORTAMENTUL DESCENDENȚILOR
1. Poluare cu ioni / neutralizare
2. Interacții interparticule
3. Mecanisme de exhalare
EFECTE ASUPRA SĂNĂTĂȚII
1. Epidemiologic
2. Dozimetric
3. Mecanisme
TEHNICI DE CONTROL
1. Eliminarea surselor
2. Aerisire
3. Filtrarea aerului
1. MODEL PENTRU EXPUNEREA POPULAȚIEI
2. ESTIMAREA RISCULUI
1. LINII DIRECTIVE – STANDARDE
2. POLITICĂ - EVALUARE
STRATEGIE DE CONTROL
I.
MODEL PREDICTIV PENTRU CONCENTRAȚIA DE RADON DIN ÎNCĂPERI
II.
IDENTIFICAREA COMPONENTELOR ȚINTĂ PE COMPONENTE DE CONSTRUCȚIE
III.


Rn-222
[Bqm-3]
160
80
40
0
Spring
0.0
0.5
1.0 km